

ALBERT EINSTEIN: UM DOS MAIORES SÁBIOS DO SÉCULO XX¹

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br

ALBERT EINSTEIN, um dos cientistas mais eminentes do século XX nasceu em Ulm, Alemanha, no dia 14 de março de 1879, e faleceu em Princeton, Nova Jérsei, no dia 18 de abril de 1955. Segundo alguns de seus biógrafos (veja Bibliografia), durante a realização de seu Ginásio, ele não apresentou nenhum brilhantismo, tendo sido obrigado a deixar a escola em Munique, devido aos péssimos resultados conseguidos no estudo de línguas, principalmente latim e grego. Antes mesmo de ingressar no Ginásio, seus pais, Hermann (1847-1902) e Pauline Einstein (1858-1920), preocupavam-se com o filho, já que ele apresentava dificuldades no falar, isto até os 9 anos de idade.

Em 1955, ao escrever a um amigo, o próprio Einstein reconheceu que a sua incapacidade para gravar palavras e textos fizeram-no dedicar-se ao estudo da Matemática e da Física, e graças a isto conseguiu concluir seu curso Secundário e ingressar no Instituto Federal de Tecnologia (“Eidgenössische Technische Hochschule” – ETH) de Zurique, não antes, no entanto, de amargar uma reprovação na primeira tentativa que fez nos exames seletivos daquele Instituto. Contam ainda seus biógrafos que ele só conseguiu se formar graças a seu colega e amigo, o físico alemão Marcel Grossmann (1878-1936), que emprestou suas anotações de aulas para que ele, Einstein, pudesse prestar os exames finais. Segundo Felipe Lindoso, Einstein gastava seu tempo lendo as obras clássicas da Física, como as dos físicos, o austríaco Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906), o escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), e os alemães Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) e Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887). Nas aulas de Eletromagnetismo, dadas pelo físico alemão Heinrich Friedrich Weber (1843-1912), conforme nos conta ainda Lindoso, Einstein não mostrava nenhum interesse, pois já sabia tudo, o que fez com que Weber fizesse um comentário jocoso sobre a sapiência de Einstein: “*Você é um doutor sabido, porém tem uma falha, a de não deixar que alguém lhe ensine alguma coisa*”. Parece que esse aspecto da personalidade de Einstein o acompanharia em sua carreira científica, já que morreu sem ficar plenamente convencido do caráter indeterminista da Física, introduzido nos trabalhos dos físicos alemães Werner Karl Heisenberg (1901-1976; PNF, 1932) e Max Born

¹ Trabalho publicado no livro **Crônicas da Física-Tomo 1** (EDUFPA, 1987); no jornal *O Liberal*, 8/07/1979; e na Revista *Contacto-Ciências* 33, p. 95-97 (1980). Ele foi revisto e atualizado para esta publicação.

(1882-1970; PNF, 1954). Ele chegou a manter uma correspondência bastante ativa com Born a respeito da Mecânica Quântica, no período de 1925-1955.

Como não conseguira um emprego de docente no Instituto Politécnico de Zurique, por ser judeu e alemão, ele obteve, graças à influência do pai de Grossmann, um emprego no Escritório de Patentes de Berna, na Suíça. Em 1901, naturalizou-se suíço e casou-se com a húngara Mileva Maric (1875-1948). Ainda nesse mesmo ano de 1901, Einstein publica o seu primeiro trabalho científico sobre capilaridade, intitulado: *Folgerungen aus den Kapillaritätserscheinungen* (“Conseqüências do efeito da capilaridade”), publicado no *Annalen der Physik* **4** (4), p. 513-523. A partir daí começou a publicar vários trabalhos científicos, principalmente relacionados com os Fundamentos da Física Molecular, sendo sua preocupação maior a Teoria do Movimento Browniano. (Para uma relação completa dos trabalhos de Einstein, ver Margaret C. Shields no livro de Schilpp, citado na Bibliografia deste artigo.) Além dos trabalhos sobre Movimento Browniano, reunidos no livro **Investigations on the Theory of the Brownian Movement** (Dover, 1956), Einstein, em 1905, publicaria mais dois trabalhos que viriam revolucionar o edifício da Física. Um deles, *Elektrodynamik bewegter Körper* (“Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”), escrito em apenas cinco semanas e publicado no *Annalen der Physik* **17** (4), p. 891-921, no qual foram apresentados os fundamentos da moderna Teoria da Relatividade Restrita, e o outro, *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (“Sobre um ponto de vista heurístico concernente à produção e transformação da luz”) também publicado no *Annalen der Physik* **17** (4), p. 132-148, no qual é apresentada a equação fundamental do efeito fotoelétrico. Foi com este trabalho que Einstein ganhou o Prêmio Nobel de Física (PNF) em 1921.

Provavelmente graças a esses trabalhos, Einstein seria chamado, em 1909, para ser Professor Associado de Física Teórica na Universidade de Zurique. Antes, em 1905, havia sido Livre-Docente na Universidade de Berna. Nesse mesmo ano de 1905, ele apresentou sua Tese de Doutorado na Universidade de Zurique, com o trabalho, de apenas 17 páginas, intitulado: *Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen* (“Uma nova Determinação das Dimensões Moleculares”), publicado mais tarde, em 1906, no *Annalen der Physik* **19** (4), p. 289-306. Anos depois, em 1911, no *Annalen der Physik* **34** (4), p. 591-592, aparecia um trabalho de Einstein intitulado *Berichtigung zu meiner Arbeit: Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen* (“Correção do meu Trabalho: Uma nova Determinação das Dimensões Moleculares”), no qual ele fazia correções no trabalho anterior sobre as dimensões moleculares, em virtude de erros numéricos que ele havia

cometido. Seus estudos sobre a formulação matemática do Movimento Browniano foram confirmados experimentalmente em 1909 (*Annales de Chimie et Physique* **18**, p. 1), pelo grande físico francês, Jean Baptiste Perrin (1870-1971, PNF, 1926), na determinação experimental dos tamanhos atômicos, principalmente no cálculo do Número de Avogadro-Loschmidt.

Em 1906/1907, com o trabalho intitulado *Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme* (“Teoria da Radiação de Planck e a Teoria do Calor Específico”), publicado no *Annalen der Physik* **22** (4), p. 180-190; 800, Einstein explicaria a razão pela qual o calor específico dos sólidos se anulava nas proximidades do zero absoluto. Ele usou a Teoria Quântica de Planck no cálculo do calor específico de um sólido. A elucidação completa do comportamento do calor específico dos sólidos só seria dada pelo físico e químico holandês Petrus Joseph Wilhelm Debye (1884-1966; PNQ, 1936), em 1912, em trabalho publicado nos *Annales de Physique Leipzig* **39**, p. 789.

Com trabalhos publicados todos os anos a partir de 1901, a reputação científica de Einstein aumentava cada vez mais e não era de estranhar que as Universidades da Europa lutassem para tê-lo entre seus professores. Assim, em 1910 ele era convidado para assumir a Cadeira de Física Teórica da Universidade de Praga, e logo depois, em 1912, ele assumiria a mesma Cadeira no Instituto Politécnico de Zurique. Como seu salário era pouco, o físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; PNF, 1918), impressionado com o talento científico de Einstein, conseguiu que fosse criado, em 1913, o cargo de Diretor do Instituto de Física Kaiser Wilhelm, de Berlim. Segundo o químico e historiador da ciência russo-norte-americano Isaac Asimov (1920-1992) (vide Bibliografia), pela primeira vez Einstein recebia um salário condigno que lhe permitia viver exclusivamente para a Ciência. Nesse mesmo ano de 1913, foi eleito Membro da Academia Prussiana de Ciências, no lugar do grande químico alemão Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911; PNQ, 1901). Esses dois acontecimentos fizeram com que Einstein se instalasse em Berlim.

Preocupado com o problema da generalização de sua Teoria da Relatividade Restrita, Einstein em 1907, publicou no *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* **4**, p. 411-462 e **5**, p. 98-99, um trabalho intitulado *Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen* (“O Princípio da Relatividade e suas Conseqüências”), no qual aparece explicitamente, pela primeira vez, a afirmação sobre a equivalência entre massa inercial e massa gravitacional, assim como a equivalência entre massa e energia obtida por ele em 1905 recebe uma aplicação física. A equivalência entre massa inercial e massa gravitacional já havia sido

observada pelo físico húngaro Roland (Lorand), Barão Eötvös Von Vásárosnamény (1848-1919), em 1889-1890. [Registre-se que, em 1960, o físico norte-americano Robert Henry Dicke (1916-1997) repetiu a experiência de Eötvös.] Essa idéia de Einstein seria retomada por ele quatro anos depois, em 1911, em um trabalho intitulado *Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes* (“Sobre a Influência da Gravitação na Propagação da Luz”) e publicado no *Annalen der Physik* **35 (4)**, p. 898-908, no qual, pela primeira vez, é aventada a possibilidade teórica de serem os raios luminosos fletidos, quando tangenciassem o disco de uma estrela. A confirmação dessa hipótese foi observada por ocasião do eclipse total do Sol ocorrido no dia 29 de maio de 1919, visível na Ilha de Príncipe, na África, e em Sobral, no Ceará (Brasil).

Einstein continuou produzindo trabalhos sobre a Teoria Geral da Relatividade (*TGR*) ou Teoria da Gravitação de Einstein (*TGE*), como ainda hoje ela é conhecida. Porém, somente em 1916, ele apresenta os fundamentos da *TGR*, em um trabalho intitulado *Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie* (“Fundamentos da Teoria da Relatividade”), publicado no *Annalen der Physik* **49 (4)**, p. 769-822. Neste trabalho, Einstein apresenta todo o formalismo do Cálculo Tensorial, bem como a Geometria de Riemann-Christoffel, e as equações tensoriais dos campos de gravitação e eletromagnético Maxwelliano. Como complemento de seu trabalho, ele obtém a Teoria da Gravitação de Newton (*TGN*) como primeira aproximação e calcula com esta o movimento do perélio da órbita de Mercúrio, encontrando o valor de $\approx 43''$ por século, exatamente o valor experimental medido pelo astrônomo francês Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877), em 1859. [Registre-se que esse valor experimental foi confirmado pelo astrônomo norte-americano Gerald Maurice Clemence (1908-1974), em 1947, ao encontrar $42,56'' \pm 0,94''$.] É oportuno salientar que a *TGN* previa um resultado da ordem de $1/6$ do valor observado por Le Verrier. Nesse mesmo ano de 1916 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **1**, p. 189; 424), o astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) encontrou uma solução exata para as equações de campo de Einstein ao considerar uma distribuição esférica de massa.

Registre-se que essa solução ficou conhecida como a **métrica de Schwarzschild**:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2mG}{r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2mG}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2,$$

onde m é a massa de um ponto. A expressão acima mostra que se $r = 2mG$, então $ds \rightarrow \infty$, indicando haver uma singularidade. Desse modo, esse valor de r passou a ser conhecido como o **raio de Schwarzschild**.

Por sua vez, na solução encontrada por Einstein, ele supôs que a métrica do espaço, caracterizada pelo tensor métrico, era ligeiramente diferente da métrica Euclidiana, e que as velocidades consideradas eram pequenas comparadas com a velocidade da luz $c (= 300.000 \text{ km/s})$ no vácuo. Observe-se que essa **métrica de Einstein** é dada por:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R_{UE}^2 (d\chi^2 + \text{sen}^2 \chi d\theta^2 + \text{sen}^2 \chi \text{sen}^2 \theta d\phi^2),$$

onde $0 \leq \chi \leq \pi$ e R_{UE} é o raio (constante) do espaço esférico tridimensional.

Depois de 15 anos casado com Mileva, Einstein divorciou-se, voltando a casar-se em 1916, com sua prima Elsa (1876-1936). Até sua morte, foi Elsa quem tratou de todos os assuntos de Einstein, funcionando como uma perfeita secretária. Depois de sua morte, os trabalhos de secretaria de Einstein foram realizados por Helen Dukas (1896-1982). Conta o ator inglês Sir Charles Spencer Chaplin (1889-1977), em seu livro de memórias, que, quando visitava o casal Einstein, Elsa contava que o cientista passava dias trancado em uma água-furtada do prédio onde morava em Berlim, e que, ao retornar, sentava-se ao piano, tocava algo e dizia: “*Estou tendo uma grande idéia*”. Voltava à sua água-furtada e só saía depois de terminar um trabalho. Para comer, pedia à sua esposa que colocasse os alimentos em uma bandeja e que deixasse na frente da porta trancada.

Em 1917, Einstein prepararia um novo trabalho intitulado *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie* (“Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade”), publicado no *Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **1**, p. 142-152, no qual ele apresentava seu modelo do Universo. Ao analisar suas equações tensoriais básicas, Einstein chegou à conclusão de que a curvatura do espaço, devido à presença da matéria, deveria ser independente do tempo, ou seja, estática. Ainda nesse trabalho, considerou a hipótese de que as forças entre as galáxias são independentes de suas massas e que variam na razão direta da distância entre elas, funcionando portanto tais forças como de repulsão cósmica. Tal hipótese correspondia a acrescentar um termo em sua equação, o famoso termo cosmológico ($\Lambda g_{\mu\nu}$). Desse modo, a equação que Einstein propôs em 1915 passou a ser escrita na forma: $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$,

onde $G_{\mu\nu}$ é o **tensor curvatura de Einstein**, Λ é o **coeficiente cosmológico**, $g_{\mu\nu}$ é o **tensor métrico**, $T_{\mu\nu}$ é o **tensor energia-momento**, G é a **constante gravitacional de Newton-Cavendish** e c é a **velocidade da luz no vácuo**. Assim, usando essa equação e sua métrica, Einstein encontrou um modelo para o nosso Universo que seria finito, estático e de curvatura positiva, com as seguintes características: $d = 10^{-28} \text{ g/cm}^3$ (densidade); $R_{UE} = 3.46 \times 10^9 \text{ anos-luz}$ (raio); e $M = 7 \times 10^{55} \text{ g}$ (massa). É o chamado **Universo Cilíndrico de Einstein - UE**. Ainda em 1917 (*Koninklijke Akademie von Wetenschappen te Amsterdam Proceedings* **19; 20**, p. 1217; 229), o astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934) encontraria um outro modelo para nosso Universo ao admitir que este era vazio. Nesse seu Universo, tanto o espaço quanto o tempo eram curvos. É o chamado **Universo Esférico de de Sitter - UdS**, caracterizado pela **métrica de de Sitter**:

$$ds^2 = c^2 \cos^2 \chi dt^2 - R_{UdS}^2 (d\chi^2 + \sin^2 \chi d\theta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \theta d\phi^2),$$

onde $0 \leq \chi \leq \pi$ e $R_{UdS} = 3/\Lambda$. Registre-se que o **UdS** é “pseudo-estático”.

[É oportuno esclarecer que, hoje (março de 2005), o **termo cosmológico** tem um outro significado físico ($\rho_{vac} g_{\mu\nu}$, sendo ρ_{vac} a **densidade de energia do vácuo quântico**) e é acrescentado ao segundo membro da **Equação de Einstein**, de 1917, ou seja: $G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} (T_{\mu\nu} + \rho_{vac} g_{\mu\nu})$, para explicar a aceleração da expansão do Universo, observada em 1998, nas supernovas do *tipo Ia*, que são explosões termonucleares de estrelas anãs brancas com 1,4 vez a massa do Sol. Registre-se que, embora o **termo cosmológico** e a **densidade de energia do vácuo quântico** sejam matematicamente equivalentes, conceitualmente eles são bem diferentes: o primeiro é uma propriedade do espaço-tempo e a segunda é uma propriedade energética do vácuo quântico que deriva de pares virtuais de partículas e antipartículas. Sobre isso, ver o artigo de L. M. Krauss e M. S. Turner, e o livro do cosmólogo brasileiro Mário Novello (1942-), citados na Bibliografia.]

Em 1922 (*Zeitschrift für Physik* **10**, p. 377), o matemático russo Aleksandr Aleksandrovich Friedmann (1888-1925), ao formular a hipótese de que a matéria se distribui uniformemente no espaço, observou que o termo cosmológico proposto por Einstein introduzia certas divergências nas equações de Einstein, e não consideradas por este cientista. Assim, Friedman foi levado à conclusão de que poderia haver dois modelos de Universo não-

estático: um que se expandiria com o tempo e o outro que se contrairia. Einstein, ao saber da descoberta de Friedmann, comentou com o físico russo-norte-americano George Gamow (1904-1968): “A *introdução do termo cosmológico foi a maior besteira de minha vida*”. A primeira evidência da expansão do Universo foi encontrada pelo astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), em dezembro de 1924. Em 1927 (*Annales de la Societé Scientifique de Bruxelles* **A47**, p. 49), o astrônomo belga, o abade Georges Edouard Lemaître (1894-1966), formulou o modelo matemático de um Universo em expansão, Universo esse que teria sido originado por uma grande explosão de um **átomo primordial** ou “ovo cósmico”. É oportuno registrar que Gamow, em 1946, deu o nome de **big-bang** para a explosão do “ovo cósmico” de Lemaître.

Em 1966, o físico inglês Stephen William Hawking (1942-) demonstrou que as soluções matemáticas das equações de Einstein teriam uma ou infinitas singularidades, sendo que esta última solução estaria de acordo com o **universo oscilante** proposto pelo astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944). É interessante chamar a atenção para o fato de que os radioastrônomos, o alemão Arno Allan Penzias (1933-) e o norte-americano Robert Woodrow Wilson (1936-), em 1965, descobriram uma radiação térmica no céu, da ordem de $3K$, e que seria, segundo a interpretação dos físicos norte-americanos Dicke, Phillip James Edwin Peebles (1935-), Peter Guy Roll e David Todd Wilkinson, o vestígio do **big-bang** inicial. (Essa radiação térmica já havia sido prevista por Gamow, em 1940, e observada pela primeira vez por Albert le Foch e Fabien Bretenaker, em 1956.) Por essa descoberta, Penzias e Wilson dividiram com o físico russo Piotr Leonidovich Kapitza (1894-1984) o PNF de 1978.

Depois dessa rápida digressão sobre os modelos cosmológicos, voltemos a Einstein. Ainda em 1917 (comunicado à Sociedade de Física de Zurique, em 1916), Einstein faria um outro trabalho intitulado *Quantentheorie der Strahlung* (“Teoria Quântica da Radiação”), publicado no *Physikalische Zeitschrift* **18**, p. 121-128, no qual ele analisa a emissão e absorção da radiação pela matéria. Usando a Mecânica Estatística de Boltzmann-Gibbs e a Teoria Atômica de Bohr, Einstein calculou as probabilidades de ocorrência para aqueles fenômenos e conseguiu deduzir a Lei da Radiação do Corpo Negro Planckiana (1900). Nesse trabalho, além da emissão espontânea, Einstein levou em consideração a emissão induzida. Esta emissão é a base teórica do LASER (“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”). [Registre-se que o primeiro “laser” foi construído pelo físico norte-americano Theodore Harold Maiman (1927-), em 1960.]

Einstein continuou produzindo trabalhos científicos, com a preocupação maior, a partir de 1917, de tentar construir uma teoria unificada para os campos gravitacional e eletromagnético. Em 1924, Einstein realizou mais um trabalho fundamental na Física. Nesse mesmo ano de 1924 (*Zeitschrift für Physik* **26**, p. 178), o físico indiano Satyendra Nath Bose (1894-1974) havia desenvolvido um tipo de estatística com o objetivo de tratar a radiação como sendo um gás de fótons. Einstein, então, estendeu esse formalismo aos materiais gasosos, no trabalho intitulado *Quantentheorie des einatomigen idealen Gases* (“Teoria Quântica dos Gases Ideais Degenerados”), com a primeira parte publicada nos *Preussische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-physikalische Klasse, Sitzungsberichte* p. 261-267, em 1924, e o seu complemento publicado nos *Preussische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-physikalische Klasse, Sitzungsberichte* p. 3-14, em 1925. Com o desenvolvimento da Teoria Quântica com Spin, observou-se que a **Estatística de Bose-Einstein** se aplicava a todas as partículas que apresentavam spin inteiro, denominadas, posteriormente, de **bósons**. Essa estatística seria aproveitada pelo físico russo Lev Davidovich Landau (1908-1968; PNF, 1962), em 1940, para explicar as propriedades de superfluidez do Hélio, descoberta por Kapitza, em Moscou, e, independentemente, pelos físicos canadenses John Frank Allen (1908-2001) e Austin Donald Misener (1911-1996), em Cambridge (Inglaterra), em 1938.

[É oportuno registrar que o trabalho de Einstein sobre a Teoria Quântica dos Gases Ideais Degenerados indicava que átomos resfriados a temperaturas extremamente baixas poderiam se juntar formando um condensado. Esse hoje conhecido condensado Bose-Einstein foi finalmente obtido em 1995, independentemente, por três grupos de pesquisadores: Michael H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, Carl E. Wieman (1951- ; PNF, 2001) e Eric A. Cornell (1961- ; PNF, 2001), com um gás de rubídio (*Rb*); C. C. Bradley, C. A. Sackett, J. J. Tollett e Randall G. Hulet, com um gás de lítio (*Li*); e K.B. Davis, Marc-Oliver Mewes, Michael R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn e Wolfgang Ketterle (1957- ; PNF, 2001), com um gás de sódio (*Na*).]

A partir de 1919 começou a grande peregrinação de Einstein através de vários países do mundo. Assim, segundo o físico Roberto Caffarelli, ele esteve no Brasil em 1925, no período de 4 a 12 de maio, de volta de uma viagem que fizera à Argentina. Realizou duas conferências no Rio de Janeiro, uma no Clube de Engenharia e a outra na então Escola Politécnica da Universidade do Brasil. No dia 7 de maio foi recebido em

sessão solene na Academia Brasileira de Ciências, sendo saudado por Juliano Moreira e Francisco Lafayette. Em resposta, Einstein falou sobre a repercussão que estavam tendo na Alemanha, as idéias da Teoria Ondulatória da Matéria, recentemente formulada pelo físico francês, Príncipe Louis Victor Pierre Raymond de Broglie (1892-1987; PNF, 1929), em França. [É oportuno ressaltar que essa viagem de Einstein à Argentina e ao Brasil está bem documentada nos livros de Aguinaldo Prandini Ricieri, de 1988, de Ildeu de Castro Moreira e Antonio Augusto Passos Videira (Organizadores), de 1995, e de Alfredo Tiomno Tolmasquim, de 2003, referidos na Bibliografia.]

A ascensão de Adolf Hitler (1889-1945) ao poder, na Alemanha, fez com que Einstein, que era judeu, aceitasse o convite para trabalhar nos Estados Unidos da América, que já visitara em 1930. Assim, em 1933, renunciou à Academia Prussiana de Ciências e aceitou o convite para trabalhar no recém-criado Instituto de Estudos Avançados de Princeton.

Einstein consagrou suas últimas décadas de vida à elaboração de uma idéia que tivera em 1923, registrada no trabalho intitulado *Theory of the Affine Field* (“Teoria do Campo Afim”) e publicado na *Nature* **112**, p. 448-449. Nesse trabalho, faz um esboço não-matemático de uma generalização da Geometria de Riemann, na qual englobaria, em um campo total, chamado campo unificado, os campos de gravitação e eletromagnético. Einstein continuaria a trabalhar incansavelmente na elaboração dessa idéia. Em 1930, ele apresentou um esboço mais elaborado dessa idéia nos *Institute Henri Poincaré, Annales* **1**, p. 1-24, em um artigo intitulado *Théorie Unitaire du Champ Physique* (“Teoria Unitária do Campo Físico”). Nos anos subseqüentes, os trabalhos de Einstein sobre o campo unificado foram feitos em parceria com outros físicos, principalmente o inglês Banesh Hoffmann (1906-1986), o alemão Peter Gabriel Bergmann (1915-) e o polonês Leopold Infeld (1893-1968).

Em 1949, ano de sua última publicação científica, Einstein e Infeld, em trabalho intitulado *Motion of particles in General Relativity Theory* (“Movimento de partículas na Teoria Geral da Relatividade”), publicado no *Canadian Journal of Mathematics* **3**, p. 209-241, propõem uma nova Teoria do Campo Unificado, na qual o tensor métrico que caracteriza a Geometria Global do Universo é não-simétrico. Como um tensor qualquer pode ser sempre escrito como a soma de um tensor simétrico e de um anti-simétrico, o tensor idealizado por Einstein, que generalizaria a estrutura do espaço, explicaria o campo gravitacional, por intermédio da parte simétrica, e o campo eletromagnético, por intermédio da parte anti-simétrica, já que, respectivamente, esses campos são representados por tensores simétrico e anti-simétricos. É oportuno salientar que, até o momento (1979), ainda não se

conseguiu obter o tal tensor, ou seja, equações tensoriais, cuja solução apresentasse os campos gravitacional e eletromagnético.

Embora Einstein tenha revolucionado a Física com as Teorias da Relatividade (Restrita e Geral) e a Quântica da Radiação (efeito fotoelétrico e emissão induzida), ele não aceitou pacificamente a outra revolução provocada na Física com a Mecânica Quântica de Heisenberg-Schrödinger-Dirac (este último introduziu a Relatividade Restrita na teoria desenvolvida pelos dois primeiros). Heisenberg, em 1927 (*Zeitschrift für Physik* **43**, p. 172), acabou com o determinismo em Física, que vinha desde Newton passando pelo próprio Einstein, com a introdução do **Princípio da Incerteza**, segundo o qual, ou o momento (p_x) ou a posição (x) podem ser determinados com absoluta precisão, mas não ambos, simultaneamente, pois: $\Delta p_x \Delta x \cong \eta$. Com relação ao acaso introduzido por esse princípio, dizia Einstein: “*Deus não joga dados*”.

Com o propósito de mostrar que havia algo “escondido”, quer no Princípio da Incerteza, quer na interpretação dada por Born, em 1926 (*Zeitschrift für Physik* **37**, p. 863), para a **função de onda de Schrödinger**, ou seja, uma **onda de probabilidade**, Einstein idealizou uma experiência de pensamento, na qual mostrava que a famosa experiência luminosa de Young, realizada com um feixe de elétrons (em vez de luz), destruiria o **indeterminismo** em Física, que houvera sido introduzido como consequência do Princípio da Incerteza Heisenbergiano e da interpretação Borniana. Na *Quinta Conferência de Física do Instituto Solvay*, realizada em Como, na Itália, em 1927, em uma de suas sessões, Einstein mostrou que, se na experiência de dupla-fenda de Young, considerarmos o anteparo contendo a dupla-fenda, pendurado por uma mola bastante tênue, a figura de interferência predita pela interpretação Borniana será destruída. O físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922), presente nessa Conferência, respondeu ao “paradoxo de Einstein” mostrando que o recuo do anteparo devido ao choque do elétron, como indicara Einstein, não poderia ser medido, isto é, não poderia ser visto, já que o microscópio hipotético utilizaria uma incerteza na medida compatível com o momento do elétron que passa pela fenda e calculada por intermédio do Princípio da Incerteza. (Para esse cálculo, ver o livro de William H. Cropper, citado na Bibliografia.)

Na *Sexta Conferência de Física do Instituto Solvay*, em 1930, Einstein voltou com um outro “paradoxo”, desta vez relacionado com o Princípio da Incerteza (energia *versus* tempo): $\Delta E \Delta t \cong \eta$. Bohr, depois de passar uma noite em claro e utilizando o Princípio da Incerteza

Heisenbergiano, resolveu mais esse “paradoxo Einsteiniano”. (Para a descrição dos “paradoxos Einsteinianos” e as soluções apresentadas por Bohr, veja o artigo deste no livro do Schilpp citado na Bibliografia.) Einstein, no entanto, não ficou convencido com os argumentos de Bohr e continuou a formular “paradoxos”, os quais foram apresentados em um trabalho [realizado com a colaboração dos físicos, o norte-americano Nathan Rosen (1909-1995) e o russo Boris Podolsky (1896-1966)] intitulado *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* (“Pode a descrição quanto-mecânica da realidade física ser considerada completa?”), publicado na *Physical Review* **47**, p. 777-780. Essa idéia de Einstein foi desenvolvida, em trabalhos separados, por de Broglie e pelos físicos, o norte-americano David Joseph Bohm (1917-1992) e o francês Jean-Pierre Vigiier (1920-2004), por intermédio de uma teoria quântica determinista na qual o determinismo é recuperado através de uns “parâmetros ocultos”, daí tal teoria haver recebido o nome de Teoria das Variáveis Ocultas. [Parece que a experiência realizada por Stuart L. Freedman e John F. Clauser, em 1972 (*Physical Review Letters* **28**, p. 938), interpretadas com as duas teorias quânticas: a ortodoxa, indeterminista, e a das variáveis ocultas, determinista, dá ganho de causa à ortodoxa. Para o físico francês Remy Lestienne, essa experiência virou uma página da História da Filosofia das Ciências. Apesar dessa opinião, é oportuno registrar que essa polêmica continua em aberto, conforme se pode ver no livro, de 2001, do físico italiano Gennaro Auletta, citado na Bibliografia.]

As ondas gravitacionais, decorrentes da quantização do campo gravitacional, foram tratadas por Einstein e Rosen, em um trabalho intitulado *On gravitational waves* (“Sobre as ondas gravitacionais”) e publicado no *Journal of the Franklin Institute* **223**, p. 43-54, em 1937. No ano seguinte, em 1938, Einstein e Infeld publicaram o famoso livro **The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta** (Simon and Schuster), em que eles analisam o surgimento e o declínio do conceito mecanicista, com a ascensão do conceito de campo na Física, através da Relatividade Restrita e Generalizada. Finalizam com um estudo da Teoria Quântica. Dizem os autores no Prefácio desse livro que ... *o nosso objetivo terá sido alcançado se estas páginas lhe derem alguma idéia da eterna luta da mente inventiva humana por um conhecimento mais completo das leis que governam os fenômenos físicos.*

Em 1940, Einstein recebeu a cidadania norte-americana. Antes, em 1939, induzido pelos físicos, o ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) e o húngaro-norte-americano Leo Szilard (1898-1964), escreveu uma carta ao Presidente dos Estados Unidos da América Franklin

Delano Roosevelt (1882-1945) alertando sobre a possibilidade de ser encontrada uma nova forma de energia através da fissão do urânio, e com isso a construção de novas bombas, muito mais potentes que as convencionais. Finalizava a carta advertindo que o físico alemão Barão Carl Friedrich von Weizsacker (1912-), filho do Subsecretário de Estado de Hitler, estava repetindo, no Instituto Kaiser Wilhelm, as experiências sobre a fissão do urânio. O resultado dessa carta foi a criação do Projeto Manhattan, que, em seis anos, fabricou três Bombas Atômicas: uma explodiu em White Sands, Novo México, no dia 16 de julho de 1945, e as outras duas no Japão: em Hiroshima, no dia 6 de agosto, e em Nagasaki, no dia 9 de agosto, ainda em 1945. (Registre-se que o texto desta carta encontra-se no livro de Einstein, no qual estão reunidos seus escritos políticos, e citado na Bibliografia.)

Até sua morte, no dia 18 de abril de 1955, Einstein continuou lutando contra a proliferação de armas atômicas. Seu grande prestígio mundial livrou-o do *Macartismo*, o que não aconteceu, no entanto, com o Diretor Científico do Projeto Manhattan: o físico norte-americano Julius Robert Oppenheimer (1904-1967).

Um pouco antes de sua morte, em 1954, Einstein recebeu uma grande honraria, quando o elemento químico de $Z = 99$ descoberto pelos físicos M. H. Sudier, P. R. Fields, H. Diamond, J. F. Mech, A. M. Friedman, P. A. Sellers, G. Pyle, C. M. Stevens, L. B. Magnusson e J. R. Huizenga, do Laboratório Nacional Argonne, recebeu o nome de einstênio (^{99}E). Depois da morte de Einstein, ele recebeu (e continua recebendo) outras honrarias. Em 1966, o Departamento de Correios dos Estados Unidos emitiu um selo com sua efígie. Em novembro de 1978, foi lançado o *High Energy Astrophysical Observatory B – HEAO-B*, também conhecido como Observatório de Raios-X Einstein que, além de detectar fontes de raios-X no céu, destinava-se a classificar as estrelas emissoras desses raios. Em 1979, a Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos, em Washington, mandou preparar uma estátua de Einstein, em bronze, com quatro metros de altura e trezentas de peso, de autoria do escultor Robert Berks. Em 2000, a *Revista Times* elegeu Einstein o HOMEM DO SÉCULO. Por fim, este ano de 2005 foi escolhido pela *Organização das Nações Unidas – ONU*, como o ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA, para homenagear o centenário dos três artigos revolucionários escritos por Einstein, em 1905, considerado como o annus mirabilis da Física.

BIBLIOGRAFIA

- ALVES, J. J. A. 2000. **Luzes Encurvam-se no céu. Einstein: Mito e Ciência.** EDUFPA.
- ASIMOV, I. 1974. *Gênios da Humanidade* 57. Bloch Editores.
- AULETTA, G. 2001. **Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics.** World Scientific.
- BALIBAR, F. 1988. **Einstein: Uma Leitura de Galileu e Newton.** Edições 70.
- BARNETT, L. 1964. **O Universo e o Dr. Einstein.** Edições Melhoramentos.
- BERNSTEIN, J. 1975. **As Idéias de Einstein.** Editora Cultrix e EDUSP.
- BROWN, H. R. 1984. **Albert Einstein: Um Simples Homem de Visão.** Brasiliense.
- CAFFARELLI, R. 1979. *Folha de São Paulo*, 14 de março.
- CALAPRICE, A. (Compilação e Edição) 1998. **Assim Falou Einstein.** Civilização Brasileira.
- CALDER, N. 1994. **O Universo de Einstein.** Editora UnB.
- CASSIDY, D. 1995. **Einstein and Our World.** Humanity Books.
- CASTIÑEIRAS, J., CRISPINO, L. C. B. e MATSAS, G. E. A. 2004. **Horizonte de Eventos.** *Scientific American Brasil* 29, p. 50.
- CROPPER, W. H. 1970. **The Quantum Physics and an Introduction to their Physics.** Oxford University Press.
- DUKAS, H. e HOFFMANN, B. (Organizadores) 1984. Editora UnB.
- CLARET, M. 1984. (Editor) **O Pensamento Vivo de Einstein.** Martin Claret Editores.
- EINSTEIN, A. 1952. **The Principle of Relativity.** Dover Publications, Inc.
- _____. 1956. **Investigations of the Theory of the Brownian Movement.** Dover Publications, Inc.
- _____. 1958. **O Significado da Relatividade.** Arménio Amado.
- _____. 1970. **Autobiographical Notes.** IN: SCHILP, P. A. 1970. **Albert Einstein: Philosopher Scientist.** Cambridge University Press. (Tradução Brasileira: 1982. Editora Nova Fronteira.)
- _____. 1981. **Como Vejo o Mundo.** Editora Nova Fronteira.
- _____. 1989. **Reflexões e Testemunhos Científicos.** Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- _____. 1990. **Física e Realidade.** Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- _____. 1991. **Écrits Politiques.** Editions du Seuil/ Editions du CNRS.
- _____. 1996. **A Book of Postcards.** Pomegranate Artbooks.
- _____. e INFELD, L. 1962. **A Evolução da Física.** Zahar Editores.

- GIBBS, W. W. 2004. **Albert e seus Aparelhos Atômicos**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 82.
- GOLGHER, I. 1991. **O Universo Físico e Humano de Albert Einstein**. Oficina de Livros.
- GOTT, J. R. 2002. **Viagens no Tempo no Universo de Einstein**. Ediouro.
- HAWKING, S. 2005. **Os Gênios da Ciência: Sobre os Ombros de Gigantes**. Elsevier/Editora Campus.
- HOLTON, G. 1998. **A Cultura Científica e seus Inimigos: O Legado de Einstein**. Gradiva.
- INFELD, L. 1950. **Albert Einstein: His work and Influence on our World**. Charles Scribner's Sons.
- KNAPP, L. (Editora) 2004. **Legado da Relatividade**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 24.
- KOSTELECKÝ, A. 2004. **Em Busca de Violações na Teoria da Relatividade**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 72.
- KRAUSS, L. M. e TURNER, M. S. 2004. **Enigma Cósmico**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 42.
- LEITE LOPES, J. 1958. **Einstein e outros Ensaios**. *Cadernos de Cultura do Ministério de Educação e Cultura*.
- LIGHTMAN, A. 1993. **Sonhos de Einstein**. Companhia das Letras.
- _____. 2004. **Einstein & Newton: Gênios da Mesma Lâmpada**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 102.
- LINDOSO, F. 1979. **Einstein Centenário**. *O Globo*, 14 de março.
- LOPES, R. J. 2004. **Onde a luz fez uma curva**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 106.
- MAGUEIJO, J. 2002. **Faster than the Speed of Light**. Perseus Publishing. (Tradução Portuguesa: 2003. Gradiva.)
- MOREIRA, I. C. 2004. **Um Ano Milagroso: o Legado de Einstein**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 22; ----- . 2005. **1905: Um Ano Miraculoso**. *Ciência Hoje* **36**, p. 34.
- MOREIRA, I. C. e VIDEIRA, A. A. P. (Organizadores) 1995. **Einstein e o Brasil**. Editora UFRJ.
- MOURA, O. J. C. 1997. **Introdução à Teoria da Relatividade**. EDUFPA.
- MOURÃO, R. R. F. 1979. **Einstein no Corcovado**. *Jornal do Brasil*, 16 de maio.
- _____. 1997. **Explicando a Teoria da Relatividade**. Ediouro.
- MUSSER, G. 2004. **Einstein Estava Certo?.** *Scientific American Brasil* **29**, p. 68.
- _____. **Forças do Mundo: Uni-vos**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 100.

- NOGUEIRA, S. 2004. **Defesa do Fóton no Brasil**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 30.
- NOVELLO, M. 1987. **Cosmos et Contexte**. Masson. (Tradução Brasileira: 1988. Editora-Forense-Universitária.)
- _____. 2005. **Os Jogos da Natureza**. Elsevier/Editora Campus.
- PAIS, A. 1994. **Einstein Lived Here**. Clarendon Press and Oxford University Press.
- _____. 1982. **'Subtle is the Lord'... The Science and the Life of Albert Einstein**. Clarendon Press and Oxford University Press. (Tradução Brasileira: 1995. Editora Nova Fronteira.)
- PARKER, B. 1988. **O Sonho de Einstein**. Edições 70.
- PATY, M. 1993. **Einstein Philosophe**. Presses Universitaires de France.
- RENN, J. e SCULMANN, R. (Organizadores) 1992. **Albert Einstein e Mileva Maric: Cartas de Amor**. Papyrus.
- RICIERI, A. P. 1988. **A Vinda de Einstein ao Brasil**. Edições Prandiano.
- ROHDEN, H. **Einstein: o enigma da Matemática**. Livraria Editora Alvorada Ltda.
- SANTOS, C. A. dos 2003. **O Plágio de Einstein**. WS Editor.
- SCHENBERG, M. (Seleção e Prefácio) 1983. **Albert Einstein: Pensamento Político e Últimas Conclusões**. Brasiliense.
- SCHWARTZ, J. e MCGUINNESS, M. s/d. **Conheça Einstein**. Proposta Editorial.
- SCHILP, P. A. 1970. (Editor) **Albert Einstein: Philosopher Scientist**. Cambridge University Press.
- SHIELDS, M. C. 1970. **Bibliography of the Writings of Albert Einstein**. IN: SCHILP, P. A. 1970. **Albert Einstein: Philosopher Scientist**. Cambridge University Press.
- THUILLIER, P. 1979. **Le Cas Einstein**. *La Recherche* **96**, Janvier.
- TOLMASQUIM, A. T. 2003. **Einstein: O Viajante da Relatividade na América do Sul**. Vieira & Lent Casa Editorial.
- VIDEIRA, A. L. L. 1971. **Notas de Relatividade**. Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- VIEIRA, C. L. 2003. **Einstein, o Reformulador do Universo**. Odysseus.
- WEINBERG, S. 1977. **The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe**. Basic Books Inc. (Tradução Brasileira: 1980. Guanabara Dois.)
- WILL, C. M. 1989. **Einstein Tinha Razão? Testando a Teoria da Relatividade Geral**. Gradiva.
- YAM, P. 2004. **Einstein no dia-a-dia**. *Scientific American Brasil* **29**, p. 90.