



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)

## Einstein e o Campo Unificado.

Depois de formular a Teoria da Relatividade Geral (TRG), em 1915, conforme vimos no item 2.6, no qual mostrou a relação entre Geometria e Gravitação, Einstein começou a pensar na possibilidade de haver também uma relação entre a Geometria e a Eletrodinâmica e, com isso, geometrizar a Física, isto é, Unificar a Física. Registre-se que por essa época, só eram conhecidas duas forças na Natureza: Força de Gravitação Newtoniana (1687) e Força Eletromagnética Maxwelliana (1873).

Uma primeira tentativa de unir a gravitação com o eletromagnetismo foi apresentada, em 1914 (*Zeitschrift für Physik* **15**, p. 504), o físico franco-finlandês Gunnar Nordström (1881-1923). Mais tarde, em 1918 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften, Part 1*, p. 465), o matemático e físico alemão Hermann Klaus Hugo Weyl (1885-1955) tentou essa unificação usando a TRG e os conceitos de **transporte paralelo de um vetor** e **conexão afim simétrica** formulados, respectivamente, pelos matemáticos, o italiano Tullio Levi-Civita (1873-1941), em 1917 (*Rendiconti del Circolo Matematico de Palermo* **42**, p. 173) e o alemão Gerhard Hessenberg (1874-1925), em 1918 (*Mathematische Annalen* **78**, p. 187). Em 1919, inspirado no trabalho de Weyl, o matemático e lingüista alemão Theodor Kaluza (1885-1954) discutiu com Einstein uma nova possibilidade de unificar o eletromagnetismo com a gravitação, por intermédio de uma generalização da Teoria Geral da Relatividade (TGR) (esta havia sido desenvolvida por Einstein, em 1915). Para Kaluza, a TGR poderia ser generalizada para um espaço de cinco (5) dimensões, na qual a quinta dimensão era comprimida em um pequeno círculo. Desse modo, as **equações de Einstein** (ver item 2.6) do campo gravitacional escrita em cinco dimensões, reproduzem as usuais equações einsteinianas em quatro dimensões, acrescidas de um conjunto de equações que representam as **equações de Maxwell** do campo eletromagnético. Provavelmente na conversa referida acima, Einstein haja discutido com Kaluza sua ideia de que as partículas eletrizadas eram mantidas juntas por forças gravitacionais, segundo seus artigos publicados também em 1919 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften, Part 1*, p. 349; 463). Nestes artigos, Einstein sugeriu que o tensor energia-matéria ( $T_{\mu\nu}$ ) tinha origem puramente eletromagnética, de modo que a condição de ser  $T_{\mu\nu} = 0$  implicaria  $\Gamma = R/4$ , onde R é o raio do Universo e  $\Gamma$ , a **constante cosmológica**, proposta em 1917. Segundo essa proposta de unificação (gravitação x eletromagnetismo), as partículas carregadas eletricamente eram mantidas juntas por forças gravitacionais. Registre-se que, em 1921, Einstein apresentou o trabalho de Kaluza à *Academia Prussiana de Ciências*, sendo então publicado em seus Anais (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften, Part 1*, p. 966), ainda em 1921. Note-se que a **geometria de Kaluza** é representada pela seguinte métrica:

$$ds^2 = -(1 - 2\Phi_G)dt^2 + [1 - 2\gamma\Phi_G](dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2) - \Phi_E dx dx_5 + \vec{A} \cdot \vec{dx} dx_5 + dx_5^2,$$

onde  $\Phi_G$  é o **potencial gravitacional**,  $\Phi_E$  é o **potencial elétrico**,  $\vec{A}$  é o **potencial vetor**,  $\vec{dx}$  é o **vetor posição** (de componentes  $x_1 = x$ ,  $x_2 = y$ ,  $x_3 = z$ ), e  $x_5$  é a **quinta componente**.

Também em 1921 (*Proceedings of the Royal Society of London* **99**, p. 104), o astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) publicou um artigo no qual propôs a unificação entre a gravitação e o eletromagnetismo seguindo a mesma ideia de Weyl.

Em 1923 (*Scripta Jerusalem Universitat* **1**, No. 7), com a colaboração do físico alemão Jakob Grommer (1879-1933), Einstein escreveu um trabalho no qual estudaram as soluções de singularidades-livres da Teoria de Kaluza. Ainda em 1923 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften*, p. 32; 76; 137; *Nature* **112**, p. 448), Einstein apresentou um esboço não-matemático de uma generalização da geometria riemanniana, na qual englobaria em um campo total, conhecido desde como **campo unificado**, os campos: gravitacional e eletromagnético. Ele voltou a esse mesmo tema, em 1925 (*Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Mathematisch-Physikalische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 414).

Em 1926 (*Zeitschrift für Physik* **37**, p. 895; *Nature* **118**, p. 516), o físico sueco Oskar Benjamin Klein (1894-1977) contornou a dificuldade apresentada pela Teoria de Kaluza, afirmando que a não observação da quinta dimensão kaluziana devia-se ao fato de que o raio do pequeno círculo considerado naquela teoria era da ordem de  $10^{-33}$  cm, o chamado **comprimento de Planck** ( $\ell_p = \sqrt{\hbar G/c^3}$ ), comprimento esse correspondente à energia de  $10^{19}$  GeV, conhecida como **energia de Planck** ( $M_p c^2 = \sqrt{\hbar c^5/G}$ ), onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo,  $M_p = 10^{-5}$  g é a **massa de Planck** e  $G$  é a **constante da gravitação universal de Newton-Cavendish**.

A busca de Einstein pelo **campo unificado** foi objeto de várias notícias nos jornais do mundo inteiro. Vejamos como essas notícias foram divulgadas, usando para isso os textos: Andrew Robson (Organizador), **Einstein: os 100 anos da Teoria da Relatividade** (Campus/Elsevier, 2005), e Walter Isaacson, **Einstein: Sua Vida, seu Universo** (Companhia das Letras, 2007)]. Com efeito, como Einstein vinha trabalhando nessa unificação em 1923 e 1925, como escrevemos acima; em 1927, em colaboração com Grommer (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 2) e, isoladamente (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 23; 235; *Mathematische Annalen* **97**, p. 99); e em 1928 (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 217; 224), a mídia escrita esperava por esse seu trabalho que seria tão revolucionário como fora o da TRG. Assim, nos dias 04 e 14 de novembro de 1928, o *The New York Times* (TNYT) publicou, respectivamente, as seguintes manchetes: - *Einstein, às vésperas de uma grande descoberta, lamenta intrusão*; e *Einstein reticente sobre o novo trabalho; não contará com “ovos antes da hora”*. Por fim, no dia 10 de janeiro de 1929, seu amigo, o físico alemão Max Karl Ernest Planck (1858-1947; PNF, 1918) apresentou à *Academia Prussiana de Ciências* (APC), em Berlim, o artigo de Einstein intitulado **Einheitliche Feldtheorie** (“Sobre a Teoria do Campo Unificado”) e que foi publicado no dia 30 de janeiro de 1929 (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, pp. 2-7). Este artigo, de seis páginas, teve manchetes nos dias 03 e 04 de fevereiro de 1929, respectivamente, no TNYT e no *The Times*, de Londres, nas quais diziam que Einstein havia conseguido formalizar o **campo unificado**. O *The New York Herald Tribune* publicou o artigo inteiro, incluindo as expressões matemáticas, que foram elaboradas por professores de física da *Universidade de Columbia* para que pudessem ser transmitidas de Berlim, por telégrafo. A mídia jornalística promoveu tanto esse trabalho de Einstein, que fora baseado na ideia que tivera sobre o *paralelismo distante* (“Fernparallelismus”), que a APC preparou e vendeu quatro mil cópias desse artigo. Em Londres, as seis páginas foram coladas lado a lado nas janelas da Loja de Departamentos *Selfridges*, para chamar a atenção de prováveis clientes. Isso deu ensejo a uma carta enviada pelo astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), no dia 11 de fevereiro de 1929, para seu amigo Einstein dizendo-lhe, em tom de brincadeira: - *Multidões se amontoavam para lê-los*. Note-se que, ainda em 1929 (*Mathematische Annalen* **102**, p. 685; *Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 156), Einstein voltou a trabalhar com o *paralelismo distante* e com um princípio variacional, respectivamente, para obter o **campo unificado**.

É interessante observar que o *paralelismo distante* permitia unificar a gravitação com o eletromagnetismo por intermédio de um **campo tetrada** (“tetrad field”), isto é, um campo de bases ortonormais de espaços tangentes em cada ponto de uma variedade tetradimensional. Esse campo permitia a comparação distante das direções dos vetores tangentes em diferentes pontos da variedade:

daí o nome *paralelismo distante*. Assim, cada ponto da variedade era definido por quatro vetores tetradados, com 16 componentes: 10 representavam o campo gravitacional e 6 o campo eletromagnético. (Tilman Sauer, *arXiv: 0405142v1:[physics.hist-ph]*, 26 May 2004). É oportuno destacar que, em 1922 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **174**, p. 437; 593), o matemático francês Elie Cartan (1869-1951) usou, pela primeira vez, o **campo tetrada** e as **formas diferenciais** na TRG. Assim, considerando uma **conexão afim não simétrica** (espaço com torsão), ele generalizou a Teoria da Gravitação de Einstein. Em 1923 e 1924 (*Annales de la École Normale Supérieure de Paris* **40**; **41**, p.325; 1) Cartan continuou seu trabalho sobre aquele tipo de conexão, que resultaram na hoje Teoria dos Fibrados, ou Geometria de Cartan, na qual o conceito de **transporte paralelo** faz o mesmo papel de **distância (geodésica)** na Geometria Riemanniana. Note que essa Teoria da Gravidade de Einstein-Cartan ou **Universo de Einstein-Cartan**, permitiu tratar espaços-tempos com torção, assim como de curvaturas. [Sobre as **formas diferenciais**, ver: José Maria Filardo Bassalo e Mauro Sérgio Dorsa Cattani, **Cálculo Exterior** (Livraria da Física, 2009)].

O argumento do *paralelismo distante* foi muito criticado, principalmente por Eddington e pelo físico austríaco Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945) que, em carta de 19 de dezembro de 1929, disse que Einstein .. *havia "traído" sua teoria da relatividade geral,... ter passado para o lado dos matemáticos puros... em um ano, se não antes, terá abandonado toda essa coisa de paralelismo distante, assim como já desistiu da teoria das funções afins*. Aliás, é oportuno registrar que Pauli, em 1921 (*Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, mit Einschluss ihrer Anwendungen* **5: Physik**, p. 539) já se mostrara cético com relação ao **campo unificado** de Einstein.

Apesar das críticas sobre a busca do **campo unificado** (embora tenha logo abandonado o *paralelismo distante*, como previra Pauli), Einstein continuou nessa busca até morrer, em 1955, realizando trabalhos isolados ou com colaboradores, usando, basicamente, a Teoria de Kaluza-Klein penta dimensional (TK-K5), ou alguma outra variante, envolvendo semivetores, bivectores e spinores. Esses trabalhos foram os seguintes: Einstein, em 1930 (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 18; 401; *Science* **71**, p. 608; *Annales de l'Institut Henri Poincaré* **1**, p. 1; *Forum Philosophicum* **1**, p. 173; *Die Koralle*, p. 486; *The Yale University Library Gazette* **6**, p. 3) e com a colaboração de seu assistente, o físico austríaco Walther Mayer (1887-1978) (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 110); Einstein, em 1931 (*Science* **74**, p. 438) e com a colaboração de Mayer (1887-1978) (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 541); Einstein, em 1932 (*Preussische Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 130; 522), em 1933 (*Koninklijke Akademie von Wetenschappen te Amsterdam Proceedings* **36**, p. 497; 615) e, em 1934 (*Annals of Mathematics* **35**, p. 104). Em 1938 (*Annals of Mathematics* **39**, p. 683), Einstein e o físico alemão o físico alemão Peter Gabriel Bergmann (1915-2002) deduziram a equação do **campo unificado penta dimensional** (gravitação + eletromagnetismo) por intermédio de um princípio variacional. Ainda em 1938 (*Annals of Mathematics* **39**, p. 65), Einstein e os físicos, o polonês Leopold Infeld (1893-1968) e o inglês Banesh Hoffmann (1906-1986) trataram, simultaneamente, o campo gravitacional e o movimento de suas fontes singulares; estudo esse que voltou a ser tratado por Einstein e Infeld, em 1940 (*Annals of Mathematics* **41**, p. 455). Em 1941 (*Theodore von Karman Anniversary Volume*, p. 212), Einstein e os físicos alemães Valentin Bargmann (1908-1989) e Bergmann estudaram aquela unificação usando um espaço de cinco (5) dimensões; em 1944, Einstein e Bargmann (*Annals of Mathematics* **45**, p. 1) e Einstein (*Annals of Mathematics* **45**, p. 15), usando campo bivectoriais. Em 1949 (*Canadian Journal of Mathematics* **1**, p. 209), Einstein e o físico polonês Leopold Infeld (1893-1968) e, em 1950 (*Canadian Journal of Mathematics* **2**, p. 120), publicaram artigos nos quais propuseram uma nova **Teoria do Campo Unificado** por intermédio de um tensor métrico que generalizava a estrutura do espaço-tempo, com a sua parte simétrica representando o campo gravitacional, e a parte anti-simétrica, o campo eletromagnético. O último trabalho de Einstein sobre o **campo unificado** foi uma pequena nota com o seguinte título: **A Comment on a Criticism of Unified Field Theory** e publicada, em 1953 (*Physical Review* **89**, p. 321).

A unificação entre a força gravitacional e a força eletromagnética também foi objeto de pesquisa de outros físicos. Vejamos alguns exemplos. Com efeito, em 1926, os físicos, o alemão Heinrich Mandel (*Zeitschrift für Physik* **39**, p. 136) e o russo Vladimir Aleksandrovich Fock (1898-1974) (*Zeitschrift für Physik* **39**, p. 226) e, em 1927, Mandel (*Zeitschrift für Physik* **45**, p. 136; 226) e Fock (*Zeitschrift für Physik* **57**, p. 261) trabalharam no **campo unificado** usando cinco dimensões. Em 1933 (*Annales de Physique Leipzig* **18**, p. 305; 337), Pauli desenvolveu uma Teoria da Relatividade em cinco dimensões, conhecida como **Relatividade Projetiva**, na qual há uma tentativa de unificar os campos: eletromagnético e gravitacional. Em 1954 (*Physical Review* **96**, p. 1683), o físico indiano-norte-americano Suraj N. Gupta (n.1924) também tentou unificar a gravitação com o eletromagnetismo.

Uma interessante relação entre a gravitação e o eletromagnetismo foi apresentada, em 1955 (*Physical Review* **97**, p. 511), pelo físico norte-americano John Archibald Wheeler (1911-2008). Como Einstein mostrara que a luz é influenciada pela gravidade (encurvamento da luz), Wheeler então propôs que a gravidade seria influenciada pela luz e, desse modo, pensou então que a luz não só é afetada pela gravidade, mas, também, ela própria pode criar gravidade. Aliás, isso não era novidade, observou Wheeler, uma vez que a Relatividade Restrita Einsteiniana, de 1905, indicava que, como toda energia é convertível em massa, a energia poderia ser então uma fonte de gravidade. Desse modo, veio-lhe a ideia de criar uma entidade hipotética, o **geon** (**g** de “gravidade”, **e** de “eletromagnetismo”, e **on** da palavra raiz de “partícula” – elétron, próton, nêutron, méson, pión etc.). Tal entidade significava o seguinte: a luz circulando em torno de um centro e mantida por sua própria gravidade. Ou seja, ela representava um campo gravitacional feito inteiramente de campo eletromagnético, isto é, uma entidade “massiva sem massa”. Nesse artigo, Wheeler tratou de **geons** esféricos e toroidais constituídos de luz e, também, de neutrinos. Quando Wheeler teve uma primeira ideia, em 1954, sobre o **geon**, isto é, um toro (“rosca”) de luz do tamanho do Sol com a massa equivalente a milhões de sóis – enviou-o a Einstein. Em conversa telefônica, Einstein disse-lhe que já havia pensado numa entidade desse tipo, energia comprimida, porém em tamanho muito menor. No entanto, descartou-a por ser “não-natural”. Apesar de suas equações relativistas permitirem uma solução desse tipo, esta não seria estável, concluiu Einstein naquela conversa telefônica. É ainda oportuno destacar que, ainda nesse seu trabalho, Wheeler discutiu a ideia de “carga sem carga”, que decorreu da seguinte questão que ele colocou: - *Se a Teoria Quântica controla o campo elétrico, o campo magnético e o campo do neutrino, não poderia elas também controlar o campo gravitacional e o próprio espaço-tempo gerador deste último?* A resposta a esta questão foi dada por Wheeler por intermédio dos conceitos de **buraco de minhoca** (“wormhole”) e de **espuma quântica** (“quantum foam”), em trabalhos subsequentes, dentre os quais o que realizou, em 1957 (*Annals of Physics-NY* **2**, p. 525) com o físico norte-americano Charles W. Misner (n.1932), no qual discutiram a gravitação, o eletromagnetismo, a carga não-quantizada e massa como propriedades do espaço vazio curvado. Nesse artigo, eles mostram como extrair os campos elétrico e magnético da curvatura do espaço tempo e, também, apresentam a ideia de **buraco de minhoca**, que são buracos (“holes”) no espaço múltiplo conectado, pelos quais as linhas do campo elétrico (este extraído da curvatura do espaço-tempo) aparecem e desaparecem. Registre-se que, como no eletromagnetismo as linhas de força do campo elétrico vão de uma carga positiva para uma negativa, essa ideia do *wormhole* explica a razão de ser o **geon** uma “carga sem carga”. Mais detalhes sobre esses trabalhos de Wheeler, ver: John Archibald Wheeler and Kenneth Ford - **Geons, Black Holes and Quantum Foam – a Life in Physics** (W. W. Norton and Company, 1998).

Por fim, em 1971 (*Revista Brasileira de Física* **1**, p. 91), o físico brasileiro Mário Schenberg (1914-1990) apresentou um novo aspecto do **Campo Unificado de Einstein**, no qual o eletromagnetismo é considerado uma teoria mais fundamental do que a gravitação, pois ele formulou a Teoria Eletromagnética de Maxwell em uma variedade diferenciável desprovida de qualquer métrica e estrutura afim. Desse modo, ele interpretou as **equações de Einstein** como um complemento das **equações de Maxwell**. Para maiores detalhes sobre a **Teoria do Campo Unificado Einsteiniano**, além dos textos já citados, ver também: Abraham Pais, **‘Subtle is the Lord...’: The Science and the Life of Albert Einstein** (Oxford University Press, 1982); Abdus Salam, **IN: Em Busca da Unificação** (Gradiva, 1991); Charles W. Misner, Kip S. Thorne and John Archibald Wheeler, **Gravitation** (W. H. Freeman and

Company, 1973); Michel Paty, **Einstein Philosophe** (Presses Universitaires de France, 1993); e Paul Charles William Davies and Julian Brown (Editors), **Superstrings: A Theory of Everything?** (Cambridge University Press, 1989).

Com a descoberta de mais duas novas forças na Natureza, como a **fraca** [pelo físico ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938), em 1934 (*Nuovo Cimento* **11**, p. 1; *Zeitschrift für Physik* **88**, p. 161)] e a **forte** [pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981; PNF, 1949), em 1935 (*Proceedings of the Physical Mathematics Society of Japan* **17**, p. 48)], a ideia de unificar todas as quatro forças da Natureza (**gravitacional, eletromagnética, fraca e forte**) se tornou mais complicada. Muito embora a força **eletromagnética** e a **fraca** já esteja unificada (força **eletrofraca**, responsável pela **química da vida**, segundo Salam, op. cit.), e a força **forte** também já esteja teoricamente unificada com a **eletrofraca**, por intermédio de teorias envolvendo simetrias, a unificação de todas elas ainda hoje (janeiro de 2012) é objeto de estudo e de polêmica, principalmente porque a inclusão da **força gravitacional** no esquema de simetrias, no caso, a **supersimetria**, ainda apresenta uma grande dificuldade que é a sua quantização. Fora desse esquema de simetrias, existe a Teoria das Cordas/Supercordas, que consegue a unificação total das forças da Natureza, porém com a dificuldade de que essa Teoria precisa de onze (11) dimensões: dez (10) espaciais e uma temporal. (Brian Greene, **O Universo Elegante** (Companhia das Letras, 2001); --- , **O Tecido do Cosmos** (Companhia das Letras, 2005); --- , **The Hidden Reality** (Borzoi Book, 2011).



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)