



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo  
[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)

## Simetria Local e Global nas Interações Físicas.

Em 1980 [Einstein's impact on Theoretical Physics, *Physics Today* p. 42 (June)], o físico sino-norte-americano Chen Ning Yang (n.1922; PNF, 1957) afirmou que o estudo da **simetria** (vide verbete nesta série) em Física é básico, pois é ela quem comanda as quatro interações físicas conhecidas até hoje: **gravitacional, eletromagnética, fraca e forte**. De um modo geral, uma interação física pode apresentar dois tipos de **simetria: global e local**. Na **global** a transformação que caracteriza a mesma é aplicada uniformemente a todos os pontos do espaço; na **local** cada ponto é transformado independentemente. Para ilustrar esses dois tipos de **simetria**, vamos usar o exemplo apresentado, em 1978 [**Supergravity and the Unification of the Laws of Physics**, *Scientific American* **238**, p. 126 (February)], por Daniel Z. Freedman e Peter van Nieuwenhuizen. Tomemos um balão e marquemos os seus meridianos e seus paralelos. Se girarmos esse balão em torno de um de seus diâmetros, a nova posição será simétrica à primeira, pois o balão mantém a mesma forma. Essa **simetria é global** porque as posições de todos os pontos sobre o balão sofrem o mesmo deslocamento angular. Por sua vez, a **simetria local** requer que o balão mantenha a mesma forma, mesmo que seus pontos sejam movidos independentemente, o que provocará uma deformação nos meridianos e nos paralelos, em consequência da aplicação de forças nos diversos pontos do balão. Essas forças haviam sido definidas, em 1954 (*Physical Review* **96**, p. 191), por Yang e pelo físico norte-americano Robert Laurence Mills (n.1927) ao demonstrarem que se uma determinada interação física é invariante por uma **simetria global**, e se exigirmos que a mesma seja também invariante por uma **simetria local**, é necessário que se introduzam na interação considerada novos campos (novas forças) – chamados **campos de 'gauge' (calibre)** -, campos (forças) esses que vêm associados a partículas bosônicas (spin inteiro) e sem massa.

Vejamos exemplos desses **campos de 'gauge'**. Conforme vimos em verbetes desta série, a interação (força) eletromagnética (de longo alcance devido ao potencial de Coulomb:  $V_C \propto 1/r$ ) é uma decorrência da Teoria Eletromagnética Clássica desenvolvida pelo físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), em 1867, e quantizada pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1927, interação essa definida pelo campo  $\phi(\vec{r})$  e que tem como característica fundamental a invariância da carga elétrica ( $e$ ), traduzida pela transformação  $\phi(\vec{r}) \rightarrow \phi'(\vec{r}) = \exp(-ie\theta)\phi(\vec{r})$ , onde  $\theta$  é a chamada **fase**. Se  $\theta$  é uma constante, essa **simetria é global** e é representada pelo grupo U(1) (sobre grupos, ver verbetes nesta série). Contudo, se quisermos que os observáveis envolvidos nessa interação (p.e.: energia) permaneçam invariáveis quando  $\theta(\vec{r})$ , ou seja, quando essa **fase** sofre um deslocamento ( $\delta\vec{r}$ ) em todos os seus pontos (**simetria local**), há necessidade de introduzir um **campo de 'gauge'** associado a uma partícula de spin 1 (bóson vetorial) e sem massa, denominada **fóton**. É interessante destacar que, um outro exemplo de **campo de 'gauge'** (CG) de uma interação de longo alcance é a gravitacional newtoniana ( $V_N \propto 1/r$ ). Este CG pode ser entendido como consequência de uma invariância por uma **simetria local** (não-interna, isto é, envolvendo apenas espaço-tempo), definida pela **transformação de Poincaré**, que é **transformação de Lorentz** (vide verbete nesta série) seguida de uma translação no espaço-tempo, definida pela expressão:  $x'^{\mu} = a^{\mu} + \Lambda^{\mu}_{\nu} x^{\nu}$  ( $\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$ ), onde  $x'^{\mu}$  ( $x^{\nu}$ ) é o **quadri-vetor posição**,  $a^{\mu}$  é a translação no espaço-tempo, e  $\Lambda^{\mu}_{\nu}$  é a **matriz de Lorentz**. Segundo a Teoria de Yang-Mills, a invariância referida acima está associada uma partícula de spin 2 (bóson tensorial), denominada **gráviton**, ainda não detectada (até o presente momento: outubro de 2010).

As duas interações vistas acima são de longo alcance. No entanto, conforme afirmamos acima, existem mais dois outros tipos de interações (forças) - **fraca** e **forte** – que são, contudo, de curto alcance. A força fraca é descrita por um **campo de 'gauge'** previsto pela Teoria de Yang-Mills (TY-M) de 1954, decorrente de uma invariância cuja **simetria local** é a do grupo SU(2), também conhecido como **grupo de isospin** (vide verbete nesta série), e as partículas correspondentes a essa invariância são conhecidas como os **bósons vetoriais massivos**:  $W^\pm$  e  $Z^0$ , descobertos em 1983 (vide verbete nesta série). É oportuno observar que a TY-M previa que a partícula que mediava as interações deveriam ser não-massivas. Contudo, como a TY-M é não-renormalizável para bósons massivos, ela não poderia descrever corretamente as forças fracas que, desde 1938, se conhecia que elas eram mediadas por partículas massivas. Conforme vimos em verbetes desta série, durante a década de 1960 e começo da década de 1970, vários trabalhos foram realizados no sentido de renormalizar (contornar os infinitos que aparecem no cálculo das interações envolvendo as forças fracas) a TY-M. Esses trabalhos mostraram que os bósons não-massivos de Yang-Mills poderiam adquirir massa através de um mecanismo conhecido como **quebra espontânea de simetria**, cuja partícula responsável por essa quebra é o **bóson de Higgs**, previsto pelo físico inglês Peter Ware Higgs (n.1929), em 1964, e que até o presente momento (outubro de 2010) ainda não foi descoberto.

Por sua vez, a força forte é descrita por um **campo de 'gauge'** (Y-M) cuja característica fundamental é a invariância de cor [uma “espécie” de carga elétrica (c)] cuja **simetria local** é a do grupo  $SU_C(3)$ , sendo as partículas mediadoras dessa interação **forte** em número de oito (8) e denominadas de **glúons**. Note que a teoria que estuda essa interação é conhecida como Cromodinâmica Quântica (*Quantum Chromodynamics* - QCD). [José Leite Lopes, **Gauge Field Theories: An Introduction** (Pergamon Press, 1981); Elliot Leader and Enrico Predazzi, **An Introduction to Gauge Theories and the 'New Physics'** (Cambridge University Press, 1983)].



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)