



# SEARA DA CIÊNCIA

## CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



### Paradoxo Termodinâmico e a Mecânica Estatística Quântica.

Em 1902, o físico norte-americano Josiah Williard Gibbs (1839-1903) publicou o livro intitulado **Elementary Principles in Statistical Mechanics** (Yale University Press), no qual retomou o trabalho do físico austríaco Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906) de 1877 (vide verbete nesta série), porém, em vez de tratar um gás como constituído de moléculas em constante colisão, como fizera Boltzmann, Gibbs partiu do **espaço de fase**  $T$ , ocupado pelo gás, e trabalhou com uma função de distribuição ( $\rho$ ) de pontos nesse espaço. Num certo instante de tempo  $t$ , cada ponto no espaço de fase corresponde a uma cópia do sistema estudado, que está sujeito a determinadas condições macroscópicas. Esta é a idéia de **ensemble**, e corresponde ao  $W$ , número de *configurações possíveis de um sistema*, considerado por Boltzmann. Desse modo, Gibbs observou que se  $w_r$  indica o volume ocupado por  $n_r$  partículas, o volume total nesse espaço, que corresponde a uma particular distribuição das partículas constituintes desse gás, será dado por:

$$W = \frac{N!}{n_0! n_1! n_2! \dots n_r!} \omega_0^{n_0} \omega_1^{n_1} \dots \omega_r^{n_r}.$$

Examinando essa expressão, Gibbs percebeu que havia necessidade de discriminar entre gases consistindo de partículas idênticas. Assim, no livro referido acima, colocou a seguinte questão: *Se duas fases diferem somente pelo fato de partículas similares terem trocado de lugar umas com as outras, elas devem ser consideradas como indistinguíveis ou apenas em fases diferentes? Se as partículas são consideradas como indistinguíveis, então, de acordo com o espírito do método estatístico, as fases devem ser consideradas como idênticas.* Essa pergunta ficou conhecida como o famoso **Paradoxo Termodinâmico de Gibbs**, conforme nos conta Cyril Domb no livro intitulado **Twentieth Century Physics**, Volume I [Laurie M. Brown, Abraham Pais and Sir Brian Pippard (Editores), Institute of Physics Publishing and American Institute of Physics Press, 1995], enunciado da seguinte maneira:

*Sejam dois fluidos colocados em dois recipientes separados por uma barreira. Se os dois fluidos são idênticos e a barreira é removida, não haverá mudança na entropia; se não são idênticos haverá mudança na entropia.*

A solução desse paradoxo, qual seja, como distinguir esses dois casos, só foi dada com a introdução da Mecânica Estatística Quântica. Com efeito, em 1924, os físicos, o indiano Satyendra Nath Bose (1894-1974) (*Zeitschrift für Physik* 26, p. 178) e o germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) (*Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Mathematisch-Physikalische Klasse, Sitzungsberichte*, p. 261) mostraram que, para partículas indistinguíveis sem limite de número para ocupar qualquer nível de energia, a expressão acima proposta por Gibbs deve ser substituída por (com  $g_i$  substituindo  $w_i$ ):

$$W = \prod_{i=1}^r \frac{(g_i + n_i - 1)!}{n_i! (g_i - 1)!}$$

Por outro lado, em 1926, os físicos, o italiano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) (*Zeitschrift für Physik* 26, p. 178) e o inglês Paul Maurice Adrien Dirac (1902-1984; PNF, 1933) (*Proceedings of the Royal Society of London* A112, p. 661), observaram que a expressão acima deveria ser modificada para tratar o caso de partículas indistinguíveis, em que duas delas não podem ocupar o mesmo nível de energia:

$$W = \prod_{i=1}^r \frac{g_i!}{n_i!(g_i - n_i)!}$$

Desse modo, as partículas indistinguíveis são tratadas por esses dois tipos de Estatística e hoje elas são chamadas, respectivamente, de **bósons** e de **férmions**.

---

[Página Inicial](#)

[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)