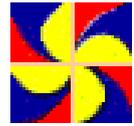




# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

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



---

## Os Erros (Conceituais) de Físicos Famosos: 1) Maxwell.

Com este verbete, iniciaremos uma série na qual destacaremos os **erros (conceituais)** cometidos por alguns físicos (e/ou, matemáticos) famosos, às vezes, reconhecidos por eles próprios e corrigidos, às vezes, corrigidos por outros, na mesma época ou posteriormente. Começamos com os do físico e matemático escocês John Clerk Maxwell (1831-1879), com destaque para dois deles: **entropia** e **Efeito Hall**. Segundo vimos em verbetes desta série, o conceito de **entropia** é a base da Segunda Lei da Termodinâmica (SLT).

Em 1850 (*Annalen der Physik und Chemie* **79**, p. 368; 500), o físico alemão Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888) afirmou que a produção de trabalho nas máquinas térmicas não resultava meramente do deslocamento do calor da fonte quente para a fonte fria e sim, também, por consumo de calor. Afirmou mais ainda que o calor pudesse ser produzido em troca de trabalho mecânico e que, portanto, era impossível realizar um processo cíclico cujo único efeito seja o de transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente. Mais tarde, em 1854 (*Annalen der Physik und Chemie* **93**, p. 481), Clausius começou a pensar que a transformação de calor em trabalho e a transformação de calor em alta temperatura para calor em baixa temperatura poderiam ser equivalentes. Em vista disso, propôs que o fluxo de calor de um corpo quente para um corpo frio (com a conseqüente transformação de calor em trabalho) deveria ser compensado pela conservação de trabalho em calor, de modo que o calor deveria fluir do corpo frio para o corpo quente. Desse modo, Clausius introduziu o conceito de **valor de equivalência** de uma transformação térmica e que era medido pela relação entre a **quantidade de calor** ( $\Delta Q$ ) e a **temperatura** ( $T$ ) na qual ocorre a transformação. Contudo, foi somente em 1865 (*Annalen der Physik und Chemie* **125**, p. 353) que Clausius propôs o termo **entropia** (do grego, que significa **transformação**), denotando-o por  $S$  ( $= \Delta Q/T$ ), em lugar do termo **valor de equivalência** e, por intermédio desse novo conceito físico, ele fez a distinção entre processos reversíveis e irreversíveis. Assim, assumindo arbitrariamente que a transformação de calor de um corpo quente para um frio tivesse um “valor de equivalência” positivo, ele apresentou uma nova versão para a SLT: - *A entropia do Universo tende para um máximo*:  $\oint dS \leq 0$ , com o sinal ( $<$ ) valendo para os sistemas irreversíveis e o sinal ( $=$ ), para os reversíveis.

Segundo o historiador da Ciência, o norte-americano James Gleick (n.1954) em seu livro: **A Informação** (Companhia das Letras, 2013), a comunidade de físicos europeus, principalmente a de ingleses, não gostou da interpretação negativa ( $< 0$ ). Por exemplo, Maxwell [que, inclusive, havia proposto uma primeira interpretação probabilística (o célebre **demônio de Maxwell**) para  $S$ , em carta que escreveu para o físico inglês Peter Guthrie Tait (1831-1901), em dezembro de 1867 (ver verbete nesta série), discordava do sinal menos ( $< 0$ ).

Assim, em seu livro intitulado **Theory of Heat** (“Teoria do Calor”), publicado em Londres, em 1871 (edição prévia em 1870), sugeriu que o sinal deveria ser mais ( $> 0$ ), e escreveu: - *Quando a pressão e a temperatura do sistema se tornam uniformes podemos dizer que a entropia se exauriu.*

Contudo, convencido de que estava errado, Maxwell preparou uma segunda edição desse livro pela Longmans, Green, Londres, em 1872, com a seguinte nota de pé de página (Gleick, op. cit.): - *Nas edições anteriores deste livro o significado do termo “entropia”, conforme apresentado por Clausius, foi equivocadamente descrito como a parte da energia que não pode ser convertida em trabalho. O livro então passou a usar a palavra como equivalente à energia disponível, trazendo assim grande confusão para a linguagem da termodinâmica. Nesta edição agi no sentido de usar a palavra “entropia” de acordo com a definição original de Clausius.*

Vejamos agora o caso do **Efeito Hall** (EH). Em outubro de 1879, o físico norte-americano Edwin Herbert Hall (1855-1938) realizou na *Universidade Johns Hopkins*, nos Estados Unidos da América do Norte, uma experiência na qual observou que quando uma longa lâmina de ouro (Au), percorrida longitudinalmente por uma corrente elétrica  $I$ , é colocada normalmente às linhas de força de um campo de indução magnética  $\vec{B}$  constante, surge, entre as laterais dessa mesma lâmina, uma diferença de potencial  $V_H$ , dada por:  $V_H = IR_H$ , onde  $R_H$  ficou conhecida como **resistência Hall**, que é diretamente proporcional a  $B$  (módulo de  $\vec{B}$ ). Imediatamente, o físico, também norte-americano, Henry Augustus Rowland (1848-1901), professor de Hall, interpretou essa diferença de potencial como sendo devida ao acúmulo de cargas elétricas de sinais contrários, cargas essas cujo deslocamento para as laterais da lâmina ocorre em virtude da ação da “força eletromagnética” que atua nos “fluidos elétricos” [elétrons, como foram posteriormente identificados, por ) individuais que compõem a corrente elétrica, segundo o modelo do “fluido elétrico” vigente nessa época (sobre fluidos elétricos, ver verbete nesta série). Essa observação de Hall, publicada em 1879 (*American Journal of Mathematics* **2**, p. 287) e em 1880 (*Philosophical Magazine* **9**, p. 225), é hoje conhecida como o **Efeito Hall Clássico** (EHC).

Esse EHC havia sido equivocadamente interpretado por Maxwell (que morreu em 05 de novembro de 1879) em seu famoso livro intitulado **A Treatise on Electricity and Magnetism**, publicado pela Clarendon Press, em 1873 [Dover Publications Incorporation (1954)], pois afirmou que a força ( $\vec{F}$ ) decorrente de  $\vec{B}$  só atuava no condutor propriamente dito, e não nos “fluidos elétricos” que compõem a corrente elétrica. Para Maxwell, essa força era dada por (em linguagem atual):  $\vec{F} = \vec{C} \times \vec{B}$ , com  $\vec{C} = \vec{K} + d\vec{D}/dt$ . Nesta expressão,  $\vec{C}$  significa a *densidade de corrente real*,  $d\vec{D}/dt$  representa a *densidade de corrente de deslocamento* e  $\vec{K} = c \vec{E}$  é a *densidade de corrente de condução* (sendo  $c$  a *condutividade específica* e  $\vec{E}$  o *campo elétrico*). É interessante destacar que a “força” considerada por Maxwell só foi conceituada pelo físico holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928; PNF, 1902), em 1892 (*Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles* **25**, p. 363), por intermédio de sua célebre expressão (na linguagem atual):  $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$ , onde  $\vec{v}$  é a velocidade da carga elétrica  $q$ , hoje conhecida como **força de Lorentz** (vide verbete nesta série).

---



**ANTERIOR**

**SEGUINTE**