

interpretada como um balanço de partículas no espaço de fases.

Outro fato a destacar é que de maneira análoga que a fluidodinâmica dos meios contínuos é uma consequência direta da mecânica estatística, a introdução da chamada Lei de Fick, que correlaciona a corrente de nêutrons com um gradiente de fluxo, *i.e.*  $\mathbf{J} = -D\nabla\Phi$ , reduz a equação de transporte a um “modelo do contínuo” para nêutrons, denominada teoria da difusão.

Desta forma, indiretamente, L. Boltzmann, é de certa forma o “pai” da física dos reatores nucleares, e mesmo na sua época sem o conhecimento das reações nucleares, e da mecânica quântica, será a sua equação a base para o projeto dos reatores nucleares atuais, e a nossa comunidade de física de reatores tem este brilhante cientista como o pilar de seu trabalho.

José Rubens Maiorino  
E-mail: maiorino@ipen.br

## Sobre os potenciais de condutores em movimento

Publicamos em 2001 artigo nesta Revista [1], intitulado ‘Esfera condutora em movimento: campo, potenciais e dúvidas’. As ‘dúvidas’ se referiam ao sentido físico do potencial escalar da esfera carregada em movimento e, principalmente, ao do potencial vetor que devemos atribuir à mesma. Com referência à Fig. 1, reproduzida daquele artigo, os principais pontos a recordar são os seguintes:

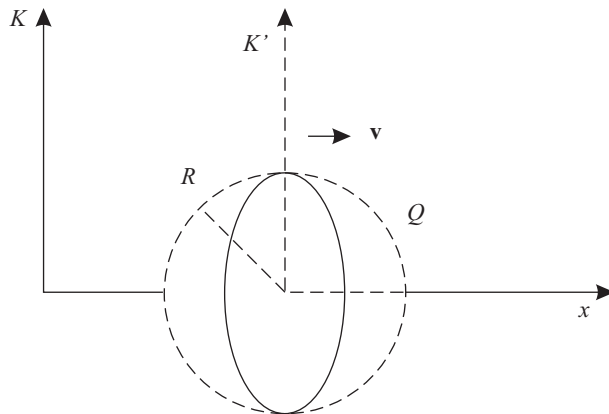


Figura 2 - Esfera no sistema  $K'$ , em tracejado, vista do sistema  $K$ , traço cheio.

1) Para um observador no sistema  $K$ , a ‘esfera’ é um elipsóide achatado na direção de movimento e de revolução nas outras duas.

2) O potencial escalar do condutor em movimento,  $\Phi$  em  $K$ , é maior do que o mesmo em  $K'$ ,  $\Phi'$ , este igual a  $Q/R$ , pelo fator  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ , ou seja  $\Phi = \gamma\Phi'$ . Os símbolos têm o sentido habitual,  $Q$ , carga,  $R$ , raio,  $v$ , velocidade da esfera e  $c$ , velocidade da luz.

3) Além do potencial escalar  $\Phi$ , devemos atribuir à ‘esfera’ condutora em movimento um potencial vetor, com uma componente exclusivamente na direção de movimento  $A_x = v\Phi/c$ .

4) No sistema  $K$ , a normal ao condutor está na

direção do ‘campo’ de Lorentz local,  $\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}/c$ .

5) O aumento do potencial escalar em  $K$  deve ser atribuído ao fato de que nele os potenciais efetivos são os de Liénard-Wiechert, que, lembramos, não são simplesmente retardados pois incluem o fator de ‘paralaxe cinética’,  $(1 - \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{r}}/c)^{-1}$ , sendo  $\hat{\mathbf{r}}$  o vetor unitário de  $\mathbf{r}$  ao ponto considerado [2].

Gostaríamos de fazer aqui os seguintes esclarecimentos em relação ao trabalho anterior:

I) Os potenciais que o observador em  $K$  atribui são sistêmicos, isto é, ao condutor em movimento como um todo. Notemos que o potencial escalar  $\Phi$  é maior que  $\Phi'$ , este medido em  $K'$ , pelo fator  $\gamma$ , ou seja, na mesma proporção em que a massa relativística aumenta ao se passar de  $K'$  a  $K$ . Se adotamos o ponto de vista de que massa e energia são equivalentes, o aumento da energia potencial representa o aumento da ‘energia elétrica’ (ver ítem a seguir) do condutor em movimento.

II) Para nossa surpresa, se calcularmos as integrais dos quadrados dos campo elétrico e magnético no exterior do elipsóide, a grandeza obtida não parece guardar nenhuma relação direta com  $\Phi$  [4]. Por esta razão, chamamos este, ou seu produto com  $Q$ , de ‘energia elétrica’, ligado ao conceito de potencial eletrostático ao qual os elétrons metálicos seriam sensíveis, imóveis ou móveis.

III) Tendo em conta o resultado mencionado no ítem 4) acima, concluímos que as transformações de Lorentz permitem encontrar a forma do condutor em movimento no qual a normal ao mesmo está na direção da força de Lorentz em cada ponto de sua superfície.

IV) A dúvida principal deixada no artigo se referia à interpretação a ser dada ao potencial vetor do condutor em movimento, igual a  $v\Phi/c$  na direção de movimento. As considerações feitas no ítem I) sugerem que ele represente a quantidade de movimento associado à

energia elétrica, necessariamente unida à energia numa entidade única ‘energia-momento’, como um quadri-vetor da relatividade ou um multivetor 0-1 da álgebra geométrica, ou de Clifford.

V) Sabemos que se a esfera é supercondutora, seus pares bosônicos são sensíveis ao potencial vetor, de tal maneira que - na linguagem de Feynman [3] - o  $p$ -momento, igual à soma do  $mv$ -momento e ao produto da carga pelo potencial vetor (ou momento elétrico, na nossa), é conservado. Se imaginamos que ela, inicialmente parada, recebe impulsivamente a velocidade  $v$  no sistema  $K$ , temos que o  $p$ -momento, inicialmente nulo, assim permanece porque para cada elétron no interior do condutor, vale a relação  $mv + qA_x = 0$  (pois  $q$ , carga do elétron, é negativa) de acordo com a argumentação

desenvolvida em IV.

G.F. Leal Ferreira  
DFCM, IF - São Carlos,  
E-mail: guilherm@if.sc.usp.br

## Referências

- [1] G.F. Leal Ferreira, Rev. Bras. Ens. Fis. **23**, 141 (2001).
- [2] R.P. Feynman, R.B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics, v .2* (Addison Wesley, Reading, 1965).
- [3] V. 3 da Ref. [2].
- [4] Obtivemos para  $(1/8\pi) \int_0^\pi 2\pi \sin\theta d\theta \int_{r(\theta)}^\infty (E^2 + B^2)r^2 dr$  o resultado  $Q^2(3 - v^2/c^2)/(6R\sqrt{1 - v^2/c^2})$ .