

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:

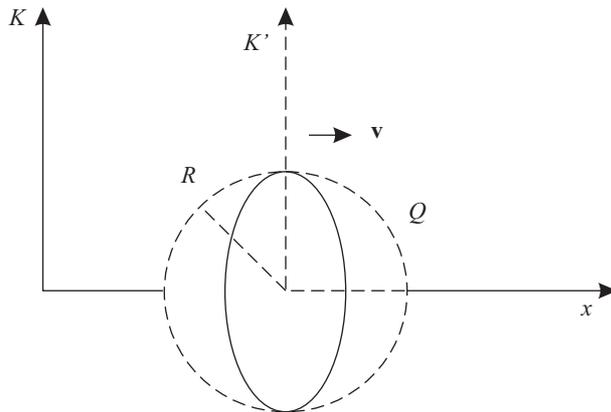


Figura 2 - Esfera no sistema K' , em tracejado, vista do sistema K , traço cheio.

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, Φ em K , é maior do que o mesmo em K' , Φ' , 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 Φ , 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 Φ é maior que Φ' , este medido em K' , pelo fator γ , 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 Φ [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 $Q^2(3 - v^2/c^2)/(6R\sqrt{1 - v^2/c^2})$.