

Sobre a contração de Lorentz-Fitzgerald

(On the Lorentz-Fitzgerald contraction)

A. Barros¹, E.M. Monte², I.G. Araújo¹, J.C.T. Oliveira¹ e Sumaia Vieira¹

¹Departamento de Física, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil

²Departamento de Física, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

Recebido em 28/6/2005; Aceito em 14/9/2005

Discutimos a contração do comprimento de Lorentz-Fitzgerald nos contextos do éter de Fresnel e da relatividade especial. Pretendemos esclarecer alguns equívocos que podem ocorrer no entendimento da relação entre contração do comprimento, éter e relatividade especial.

Palavras-chave: contração de Lorentz-Fitzgerald, relatividade especial.

We discuss the Lorentz-Fitzgerald contraction in the context of the Fresnel's ether and special relativity. We intend to clarify some mistakes that can occur in the understanding of the relation among length contraction, ether and special relativity.

Keywords: Lorentz-Fitzgerald contraction, special relativity.

1. Introdução

Neste ano, comemora-se um século do “ano miraculoso” de Einstein, quando ele publicou cinco artigos que contribuíram para modificar a física [1]. Entre esses artigos, encontra-se o da teoria da relatividade especial [2]. Esta teoria consagrou-se como um dos alicerces da física contemporânea, sendo comprovada por vários experimentos [3], e sua união com a mecânica quântica produziu uma das teorias de maior sucesso na Física: a eletrodinâmica quântica.

Em que pese todos esses anos do advento da relatividade especial, algumas confusões ainda ocorrem quanto ao entendimento de aspectos da teoria. Por exemplo, em relação à contração do comprimento, conhecida como contração de Lorentz-Fitzgerald (ou contração de Lorentz), vejamos as afirmações de Assis [4]:

Veio então Einstein e afirmou que “a introdução de um ‘éter luminífero’ revelar-se-á supérflua”. Se este é o caso, então ele deveria ter descartado a idéia de uma contração do comprimento das réguas e dos corpos rígidos. Afinal de contas esta contração só havia sido introduzida para reconciliar o resultado negativo da experiência de Michelson e Morley com o conceito de éter. [...] Se o éter é supérfluo então obrigatoriamente a contração de comprimentos fica supérflua. [...] Só que Einstein manteve a contração de comprimentos apesar de ter descartado o éter!

¹E-mail: sabu1@uol.com.br.

²No período 1895-1904, Lorentz desenvolveu uma teoria para explicar a ação dinâmica do éter sobre os corpos em movimento, resultando na contração destes [6, 7]. No contexto dessa teoria, obteve as transformações de coordenadas (que ficaram conhecidas como transformações de Lorentz) que deixam a velocidade da luz invariante para dois observadores em movimento relativo uniforme.

Achamos instrutivo discutir essa questão, esperando contribuir para o esclarecimento dos conceitos envolvidos, evitando-se doravante confusões de interpretação. Com esse intuito, examinaremos a seguir a contração de Lorentz-Fitzgerald nos contextos do éter de Fresnel e da relatividade especial.

2. A contração do comprimento

A visão mecânica da física, dominante no século XIX, impunha a existência de um meio material para a propagação das ondas eletromagnéticas. Esse meio material foi chamado de éter. Vários modelos para o éter foram propostos, sobressaindo-se a opinião do físico holandês H.A. Lorentz, grande especialista na teoria eletromagnética, que defendia o éter de Fresnel. Segundo esse modelo teórico, o éter permearia toda a matéria e o espaço, não sendo afetado pelo movimento dos corpos. A Terra deveria estar se movendo pelo Espaço atravessando o éter imutável.

Em 1887, Michelson e Morley realizaram uma experiência para detectar o movimento do éter relativamente à Terra. O resultado foi negativo, isto é, não se registrou diferença nos tempos dos raios de luz se movendo em direções perpendiculares no interferômetro [5]. Confiante no modelo do éter estacionário de Fresnel, Lorentz propôs, em 1892, a hipótese *ad hoc*² da contração do comprimento dos objetos se movendo

paralelamente ao “vento” de éter. Essa hipótese já havia ocorrido a Fitzgerald e ficou, portanto, conhecida como contração de Lorentz-Fitzgerald. Vejamos o que disse Lorentz: *A experiência de Michelson-Morley intriga-me há muito tempo; por fim, só consegui pensar numa maneira de a reconciliar com a teoria de Fresnel, que consiste na suposição de que a linha que une dois pontos de um corpo sólido, se inicialmente é paralela à direção do movimento da Terra, não conserva o mesmo comprimento quando é subsequentemente rodada de 90°* [6]. Basicamente, a hipótese de contração do comprimento de Lorentz-Fitzgerald consiste em fazer $l \rightarrow l\sqrt{1 - v^2/c^2}$, sendo l o comprimento do braço do interferômetro paralelo à direção do movimento, v a velocidade da Terra em relação ao éter e c a velocidade da luz para um observador em repouso no éter, isto é, aquele valor que se obtém a partir das equações de Maxwell.

Na relatividade especial há um efeito de contração de comprimento, cuja expressão matemática é formalmente idêntica àquela mencionada acima, mas de natureza completamente diferente [8]:

Aceitando-se os dois postulados da relatividade, este resultado, o qual pode ser chamado a contração de Lorentz, é considerado inteiramente real [...]. O resultado difere da contração originalmente postulada por Lorentz e Fitzgerald para explicar o experimento de Michelson-Morley, uma vez que ele estabelece uma relação simétrica entre duas réguas em movimento relativo, enquanto a hipótese de Lorentz e Fitzgerald requer uma mudança no comprimento para uma única régua dependendo de sua velocidade através de um éter fixo.

De fato, a contração do comprimento, na relatividade especial, surge como consequência de que todos os observadores em movimento relativo uniforme devem medir o mesmo valor para a velocidade da luz. Ela ocorre apenas para um observador que mede o comprimento de uma barra em movimento, dependendo o valor da contração da velocidade com que a barra se move em relação a ele (a contração é relativa).

3. Contração do comprimento, éter e relatividade

Na teoria do éter estacionário de Lorentz, consideremos um observador O' em repouso no laboratório com o interferômetro (ver esquema na Fig. 1). Esse laboratório se move com velocidade v em relação ao éter, de modo que o braço B fica paralelo à direção do movimento. A ação do éter sobre os raios de luz que percorrem os braços do interferômetro, alterando as suas velocidades, deve fazer com que os tempos gastos nos dois percursos sejam diferentes. No entanto, o braço B se contrai na justa medida para impedir a observação dessa diferença entre os tempos. Assim, a contração do comprimento surge como um efeito que se contrapõe ao “vento” de éter. Nesse ponto, parece razoável supor que se não

há éter, então não há necessidade da hipótese de contração do comprimento. (Na relatividade especial, que dispensa a hipótese do éter, um observador em repouso em relação ao interferômetro não verifica contração no comprimento do braço B , de maneira que os raios de luz percorrem as barras de comprimento l' no mesmo intervalo de tempo.)

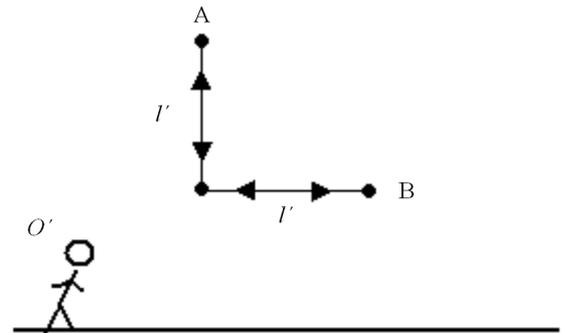


Figura 1 - Observador O' em repouso no laboratório com o interferômetro. O laboratório se move com velocidade v em relação ao éter.

Agora, vejamos o que ocorre quando a mesma experiência é examinada do ponto de vista de um observador O em repouso com relação ao éter. Para esse observador, o interferômetro se move com velocidade v :

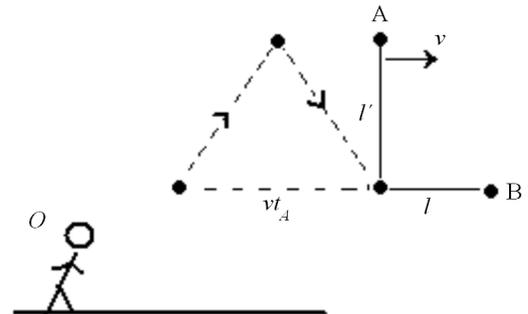


Figura 2 - Observador O em repouso com relação ao éter.

Na Fig. 2, indica-se a trajetória do raio de luz que percorre em ida e volta o braço A do interferômetro que possui comprimento l' . Um raio de luz também percorre o braço B em ida e volta, mas esse braço apresenta-se com o comprimento igual ao expresso pela equação:

$$l = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (1)$$

por causa do efeito de contração de Lorentz-Fitzgerald. O tempo gasto pelo raio de luz para percorrer o braço A em percurso de ida e volta é

$$t_A = \frac{2\sqrt{l'^2 + (vt_A/2)^2}}{c}. \quad (2)$$

Daí,

$$t_A = \frac{2l'}{\sqrt{c^2 - v^2}}. \quad (3)$$

Enquanto isso, o raio que percorre o braço B em ida e volta leva um tempo total igual a

$$t_B = t_{ida} + t_{volta} = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2cl}{c^2 - v^2}, \quad (4)$$

sendo que $t_{ida} = (l + vt_{ida})/c$ e $t_{volta} = (l - vt_{volta})/c$. Usando (1), vem que

$$t_B = \frac{2c}{c^2 - v^2} \cdot l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t_A. \quad (5)$$

Percebe-se que a hipótese da contração do comprimento é necessária para explicar a experiência, mas agora não há o efeito de modificação da velocidade da luz pelo éter. Portanto, a contração do comprimento não tem aqui o papel de compensar o “vento” de éter, isto é, ela se estabelece de forma independente. Para o observador O , de um ponto de vista puramente cinemático, o fato é que a luz se propaga com velocidade c em qualquer direção.

Einstein, na teoria da relatividade especial, considerou que a luz pode se propagar no vácuo (o éter é uma hipótese supérflua) e que todos os observadores em movimento relativo uniforme medem a mesma velocidade c para a luz. Obteve, então, as transformações (de Lorentz) relacionando as coordenadas desses observadores, e daí, como uma das consequências, o efeito de contração do comprimento. Em verdade, a situação representada na Fig. 2 é análoga à de um observador O em relação ao qual o interferômetro se move com velocidade v no vácuo. Para esse observador, os raios de luz se movem com velocidade c ao percorrerem os braços do interferômetro em movimento. Nesse caso, as Eqs. (3), (4) e (5) também são válidas.

4. Conclusão

Historicamente, a hipótese da contração do comprimento de Lorentz-Fitzgerald surge atrelada ao éter, mais especificamente ao “vento” de éter. Essa contração é absoluta, pois só depende da velocidade do corpo em relação ao éter. Assim, um observador em repouso com relação ao éter também verifica a contração de uma barra em movimento, embora não ocorra para ele o efeito do “vento” de éter. Em uma outra abordagem, essa situação é retomada pela relatividade especial, pois, em essência, o que importa é que a luz se propaga com a mesma velocidade em todas as direções. A contração do comprimento de Lorentz-Fitzgerald estará, naturalmente, presente.

Para encerrar a nossa discussão, vamos reproduzir um comentário de Einstein acerca da contração do comprimento [9]:

Mas a experiência (de Michelson-Morley) deu um resultado negativo, deixando os físicos em situação de

grande embarço. Lorentz e Fitzgerald tiraram a teoria deste embarço, admitindo que o movimento do corpo em relação ao éter provocaria uma contração do mesmo na direção do movimento, [...] esta era a saída correta também do ponto de vista da Teoria da Relatividade. Mas a interpretação da situação pela Teoria da Relatividade é incomparavelmente mais satisfatória. De acordo com ela, não existe nenhum sistema de coordenadas privilegiado que crie as condições para a introdução da idéia do éter, e portanto também não existe nenhum vento de éter, e nenhum experimento para evidenciá-lo. A contração dos corpos em movimento resulta aqui, sem necessidade de hipóteses especiais, dos dois princípios básicos da teoria; e nesta contração o que importa não é o movimento em si, ao qual não conseguimos atribuir nenhum sentido, mas sim o movimento em relação ao sistema de referência escolhido em cada caso. O sistema de espelhos de Michelson e Morley não sofre contração em um sistema de referência que se movimenta com a Terra, mas sim em um sistema de referência que esteja em repouso em relação ao Sol.

Referências

- [1] J. Stachel (organização e introdução), *O Ano Miraculoso de Einstein: Cinco Artigos que Mudaram a Face da Física* (Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 2001).
- [2] A. Einstein, *Annalen der Physik* **17**, 891 (1905). Além da Ref. [1], há também uma tradução em português em: H.A. Lorentz, A. Einstein e H. Minkowski, *O Princípio da Relatividade* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1983), p. 47.
- [3] Y.Z. Zhang, *Special Relativity and Its Experimental Foundations* (World Scientific, Singapura, 1997).
- [4] A.K.T. Assis, *Mecânica Relacional* (Editora do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência/UNICAMP, Campinas, 1998), p. 175. Especificamente sobre comentários e críticas a respeito desse livro, ver: D.S.L. Soares, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **21**, 558 (1999) e O. Escobar e V. Pleitez, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **23**, 260 (2001).
- [5] Ver, por exemplo, A. Chaves, *Física* (Reichmann & Afonso Editores, Rio de Janeiro, 2001), v. 3, p. 79, para uma revisão da famosa experiência.
- [6] A. Pais, *Sutil É O Senhor, Vida e Pensamento de Albert Einstein* (Gradiva, Lisboa, 1993), p. 157.
- [7] J. Stachel, in *History of Relativity*, editado por L. Brown, A. Pais e B. Pippard, *Twentieth Century Physics* (Institute of Physics Publishing, Bristol, 1995).
- [8] R.C. Tolman, *Relativity Thermodynamics and Cosmology* (Dover, Nova York, 1987), p. 23.
- [9] A. Einstein, *A Teoria da Relatividade Especial e Geral* (Contraponto, Rio de Janeiro, 1999), p. 48.