

TÁQUIONS

PULICI, Angelo Rober¹

RESUMO

Neste artigo é abordada a possibilidade da existência de uma partícula superluminal hipotética denominada táquion, que possui a propriedade de se deslocar com velocidade acima da velocidade da luz (c), mas não contrariando a causalidade descrita na Teoria da Relatividade.

Palavras-chave: Táquions, Superluminal, Causalidade, Relatividade.

ABSTRACT

In this paper is discussed the possibility of the existence of a hypothetical superluminal particles called tachyon, which has the property to move with speed above the speed of light (c), but not contradicting the causality described in the Theory of Relativity.

Keywords: Tachyons. Superluminal. Causality. Relativity.

INTRODUÇÃO

Lucrécio foi o primeiro cientista a mencionar “partículas mais velozes que os raios do Sol”, por volta de 50 a.C., em sua famosa obra *De rerum natura* (CARO,1968). Os estudos incipientes a respeito dessas partículas foram realizados no início do século passado, pelo físico inglês Joseph John Thomson, descobridor do elétron em 1897, e pelo físico alemão Arnold Sommerfeld. Os objetos superluminais ($V > c$) foram chamados de táquions (velozes) pelo físico norte-americano Gerald Feinberg (FEINBERG, 1967), que

¹ Professor Mestre da Graduação da UNIFEV
Votuporanga - SP - Brasil
angelopulici@fev.edu.br

é contrário aos brádions (lentos), termo utilizado para designar os objetos ordinários subluminais ($v < c$).

Em 1917, o físico norte-americano Richard Chase Tolman tentou demonstrar, por meio da formulação de um paradoxo, a existência de partículas superluminais que permitiriam o envio de informações ao passado, estagnando as pesquisas nesta área por meio século. Logo após, essas partículas foram novamente postas em evidência nos trabalhos do físico indiano George Sudarshan que disse: “Se os táquions existirem, é preciso encontrá-los; se não existirem, é preciso explicar por que” (BILANIUK; SUDARSHAN, 1969). Recentemente, a possibilidade de fenômenos superluminais foi reforçada pelos resultados de importantes experimentos.

1. EVIDÊNCIAS DA EXISTÊNCIA DOS TÁQUIONS

Os neutrinos são partículas sem carga elétrica e com massa supostamente muito pequena (TIPLER; LLEWELLYN, 2001). Experimentos parecem indicar que o quadrado da massa dos neutrinos associados ao múon e ao elétron é negativo, caracterizando-os como taquiônicos (COHEN; GLASHOW, 2011).

No efeito de tunelamento quântico, observou-se teoricamente que partículas podem atravessar barreiras (EISBERG; RESNICK; GASIOROWICZ, 1979).

Experimentos verificaram que alguns processos ocorrem mesmo com velocidade superior a c . Essas experiências foram feitas a partir de 1992, por Ray Chiao e colaboradores, da Universidade de Berkeley (Estados Unidos) que observaram um único fóton atravessar uma barreira com velocidade de $1,47 c$ (CHIAO; STEINBERG, 1993). O físico alemão Güenter Nimtz, da Universidade de Colônia (Alemanha), conseguiu transmitir a sinfonia 40 de Mozart por tunelamento de microondas entre dois pontos do espaço distantes $11,7 \text{ cm}$ com velocidade de $4,7 c$ (NIMTZ; HEITMANN, 1994).

O núcleo de vários quasares revelou a presença de objetos muito velozes sendo expelidos. Considerando que os quasares estão muito distantes da Terra, estas emissões seriam superluminais.

Os engenheiros Jian-Yu Lu, Amr Shaarawi e Peeter Saari descobriram que as equações que descrevem o comportamento das ondas, tanto mecânicas (som) quanto eletromagnéticas (luz), admitem novas soluções, tanto subluminais quanto superluminais, além daquelas já conhecidas (LU; RODRIGUES, 1997). Essas ondas superluminais (ou supersônicas), tendo tipicamente a forma de X predita em 1980 com base na relatividade estendida (comentada a seguir), são até o momento a melhor verificação dessa teoria. As ondas X, conforme descrita na figura 1, justamente por causa de sua propriedade de movimento quase sem deformação estão sendo aplicadas na área médica, precisamente no campo da imagem por ultrassonografia. Os pesquisadores Waldyr A. Rodrigues Jr. e Michel Z. Rached, da Universidade Estadual de Campinas, e Erasmo Recami, da Università Statale di Bergamo, estão utilizando pulsos de laser para explorarem as ondas X (RECAMI, 1996).

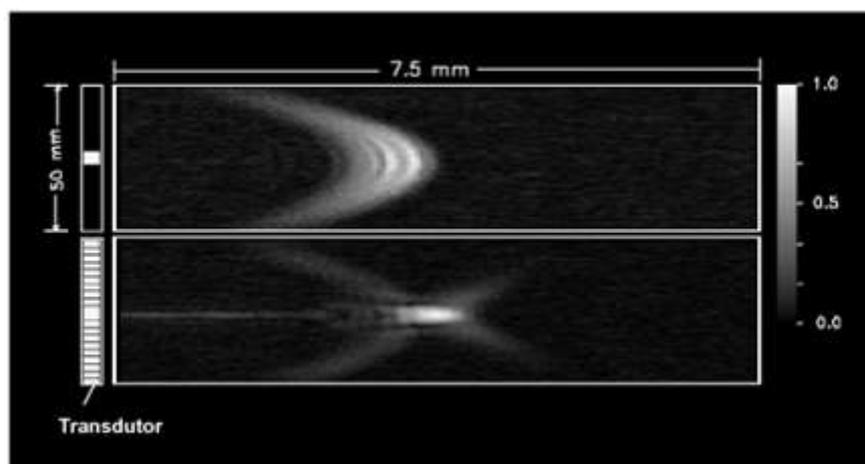


Figura 1: Comparação das velocidades de uma onda de som comum e de uma onda X acústica, descritas no artigo de Waldyr A. Rodrigues e Jian-Yu Lu.

2. TEORIA RESTRITA DA RELATIVIDADE ESTENDIDA

A Teoria Restrita (ou Especial) da Relatividade de Albert Einstein de 1905 denota que não é possível acelerar uma partícula até que ela atinja a velocidade da luz (EINSTEIN, 1999), porém a teoria não impede a existência de partículas com velocidade superior à da luz em seu estado natural (LANDAUER, 1993), e a expressão de energia, nestes casos, seria um número complexo.

A expressão (1) que descreve a relação entre energia e momento para os brádions, é dada por:

$$E^2 = p^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4 \quad (1)$$

Sendo E a energia relativística total, p o momento relativístico, m_0 a massa de repouso e c a velocidade da luz, cujo valor no vácuo é igual a $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

A energia relativística total E da partícula descrita por Albert Einstein é dada pela famosa fórmula:

$$E = m \cdot c^2 \quad (2)$$

Nesse caso, a massa m é expressa por:

$$m = \gamma \cdot m_0 \quad (3)$$

Sendo γ o fator da transformada de Lorentz que é dado pela relação (4):

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - (v^2/c^2)} \quad (4)$$

Portanto, das expressões (3) e (4), obtêm-se a massa relativística:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - (v^2/c^2)} \quad (5)$$

Logo, a equação (2) fica:

$$E = m_0 \cdot c^2 / \sqrt{1 - (v^2/c^2)} \quad (6)$$

Nota-se que quando v aproxima-se de c , a energia tende ao infinito. Porém, se a velocidade V superar c , para que haja uma massa real, deve-se adaptar a expressão (1), passando a ser:

$$E^2 + m_0^2 \cdot c^4 = p^2 \cdot c^2 \quad (7)$$

E a equação da energia relativística total para partículas taquiônicas torna-se igual a:

$$E = m_0 \cdot c^2 / \sqrt{(V^2/c^2) - 1} \quad (8)$$

Um efeito curioso observado para os táquions é quando sua velocidade aumenta, a sua energia diminui; diferentemente dos brádions que possuem sempre energia crescente com o aumento da velocidade, conforme visto na figura (2). Então, da mesma maneira que é proibido para os brádions quebrar a barreira da velocidade da luz, também é proibido para os táquions reduzir a velocidade abaixo da velocidade da luz, ou seja, os objetos para alcançar a barreira pela esquerda ou pela direita requerem energia infinita.

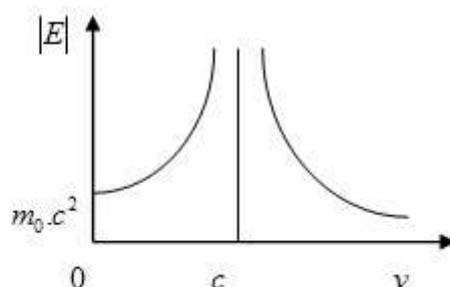


Figura 2: Variação da energia de um objeto livre, de massa m , em função de sua velocidade.

Uma consequência da relatividade “estendida” é inesperada: uma partícula taquiônica aparecerá para nós viajando mais lentamente do que a luz, mas com aspectos de tipo quântico (DIRAC, 1958), ou seja, aparecerá como uma partícula dotada de “velocidade de grupo” subluminal (v), associada a uma “velocidade de fase” superluminal (V), sendo que as duas velocidades estão associadas à conhecida relação de Louis de Broglie, por meio da expressão:

$$v \cdot V = c^2 \quad (9)$$

A possível existência de objetos superluminais gera interesse à Cosmologia, por exemplo, quando uma fonte de ondas eletromagnéticas de frequência f_0 tende a se afastar de nós com a velocidade da luz (redshift), a

frequência f da radiação observada tende a zero. Porém, a radiação oriunda de fontes superluminais que se afastem de nós será novamente perceptível. Então, a lei do efeito Doppler, estendida para quaisquer valores da velocidade relativa é dado pela equação:

$$f = \frac{f_0 \sqrt{1 - (v^2/c^2)}}{1 + (v^2/c^2) \cos \alpha} \quad (10)$$

Quando a fonte se aproxima de nós com velocidade superluminal há o aparecimento de frequências negativas. Neste caso, a radioemissão da fonte será recebida na ordem temporal invertida.

3. TRANSFORMAÇÃO COMPLEXA ESTENDIDA

Utilizando as transformadas de Lorentz estendida para os táquions, no sistema de coordenadas das equações (11) e (12):

$$(c + iV).t = K[(c + iV) + v].t' \quad (11)$$

$$(c - iV).t' = K[(c - iV) - v].t \quad (12)$$

Foi obtido, após alguma álgebra, o fator de conversão para estes supostos objetos superluminais, descrito pela equação (13):

$$K = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2 + V^2} - i \frac{2.v.V}{c^2 + V^2}} \quad (13)$$

Portanto, sem violar a Teoria da Relatividade, para objetos subluminais ($V=0$), o fator de conversão K da equação (13) recai na relação (4) do fator γ de Lorentz. Para objetos superluminais ($v \ll V$), e por meio da expressão (9), obtemos:

$$K = 1 / \sqrt{1 - \frac{2.i.c^2}{c^2 + V^2}} \quad (14)$$

4. CAUSALIDADE

Em 1973, Philip Crough e Roger Clay informaram que uma partícula aparentemente superluminal foi produzida em uma chuva de raios cósmicos

(uma observação que não foi confirmada ou repetida). Isto possibilitou propor que cada partícula no espaço tem sua própria linha secular relativa, permitindo viajar para um tempo anterior sem violar a causalidade, um princípio fundamental da física de partículas.

Os táquions, se existirem, não violariam a causalidade, até mesmo se eles interagissem com a matéria ordinária. A causalidade seria violada se uma partícula pudesse enviar informação para o passado, conduzindo aos paradoxos lógicos (como o paradoxo de avô). Os táquions são impossibilitados de violar a causalidade pelo princípio de reinterpretação de Gerald Feinberg, por exemplo, um táquion que aparece com energia positiva para um observador, poderá aparecer com energia negativa para outro, e viajando com direção temporal invertida, isto é, para o passado.

Essas duas propriedades dificultaram, durante anos, a credibilidade da existência dos objetos superluminais. O princípio da reinterpretação elimina qualquer movimento para o passado, bem como qualquer energia negativa, ou seja, uma partícula com energia negativa viajando para o passado é como se ela fosse dotada de energia positiva e estivesse trafegando para frente no tempo, isto porque os observadores não podem distinguir entre a emissão e absorção de táquions, ao contrário do que ocorre para brádions e fótons. Além disso, esse princípio propicia deduzir a existência da antimatéria a partir da Teoria da Relatividade.

CONCLUSÃO

Para finalizar estas considerações sobre a hipótese dos táquions, evidencio alguns aspectos importantes:

- a) A extensão do eletromagnetismo aos táquions fornece uma concatenação interessante entre essas partículas e os monopolos magnéticos.
- b) No âmbito da relatividade geral, a existência dos táquions pode trazer informações do interior dos buracos negros, que não

possibilitam sair nenhuma partícula com velocidade menor ou igual à da luz.

- c) Os táquions podem desempenhar função essencial como intermediários das interações entre partículas elementares, propiciando fundamental contribuição para a mecânica quântica.

Portanto, os táquions ainda devem ser explorados para que seus mistérios sejam desvendados.

REFERÊNCIAS

BILANIUK, Olexa-Myron P.; DESHPANDE, Vijay K.; SUDARSHAN, E. C. George. Meta Relativity. **American Journal of Physics**, v. 30, 1962.

BILANIUK, Olexa-Myron; SUDARSHAN, E. C. George. Particles Beyond The Light Barrier. **Physics Today**, v. 22, n. 5, p. 43-51, maio 1969.

Bilaniuk, Olexa-Myron; SUDARSHAN, E. C. George. More About Tachyons, **Physics Today**, v. 22, n. 12, p. 47-52, dez. 1969.

CARO, Tito Lucrecio. **Lucretius The Way Things Are: *The De Rerum Natura***. Tradução de Rolfe Humphries. Indiana: Indiana University Press, 1968.

CHIAO, R.Y.; KWIAT, P.G.; Steinberg, A.M., Faster than Light? **Scientific American**, v. 269, p. 38-46, 1993.

COHEN, A. G.; GLASHOW, S. Lee. Pair **Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation**. **Physical Review Letters**, v. 107, 2011.

DIRAC, P. A. Maurice. **The Principles of Quantum Mechanics**. Oxford: Oxford University Press, 1958.

EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 1999.

EISBERG, R.; RESNICK, Robert. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.

FEINBERG, Gerald. Possibility of Faster-Than-Light Particles, **Physical Review Letters**, v. 159, p. 1089-1105, 1967.

FEINBERG, Gerald. Particles That Go Faster Than Light. **Scientific American**, v. 6, p. 69, fev. 1970.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Linzee. **The Feynman Lectures on Physics**, v. 3. London: Addison Wesley, 1970.

GASIOROWICZ S., **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1979.

HEITMAN, W.; NIMTZ, Gunter. On Causality Proofs of Superluminal Barrier Traversal of Frequency Band Limited Wave Packets, **Physical Review Letters**, V. 196, p. 154-8, 1994.

LANDAUER, R. Light Faster than Light? **Nature**, v. 365, p. 692-693, out. 1993.

MAIORINO, J. E.; RODRIGUES, W. A. Jr. What is Superluminal Wave Motion?, **Sci. & Tech. Mag.**, v. 2, ago. 1999.

MIGNANI, R.; RECAMI, Erasmo. Special Relativity Extended to Superluminal Frames and Objects (Classical Theory of Tachyons), **Report**, nov. 1973.

RECAMI, Erasmo. Classical Tachyons and Possible Applications: A Review, **Rivista Nuovo Cimento**, v. 9, p.1-178, 1996.

RODRIGUES, W. A. Jr.; LU, J. Y.. On the Existence of Undistorted Progressive Waves of Arbitrary Speeds in Nature, **Foundations of Physics**, v. 27, p. 435-508, 1997.

STEINBERG, A.M.; KWIAT, P.G.; CHIAO, R.Y.. Measurement of the Single-Photon Tunneling Time, **Physical Review Letters**, v. 71, p. 708-11, 1993.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, Ralph. **Física Moderna**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.