

A possível existência de objetos mais velozes que a luz tem chamado a atenção dos físicos desde tempos remotos. Porém, as pesquisas nessa área só ganharam fôlego a partir da década de 1960, após permanecerem estagnadas por praticamente 50 anos, devido a um trabalho no qual foi sugerido que a existência de partículas superluminais, os táquions, permitiria o envio de informações para o passado. Recentemente, a possibilidade de fenômenos superluminais foi reforçada pelos resultados de importantes experimentos.

Erasmu Recami

*Centro de Componentes
Semicondutores,
Universidade Estadual
de Campinas*

Michel Z. Rached

*Faculdade de Engenharia Elétrica
e de Computação,
Universidade Estadual
de Campinas*

Mais veloz qu

es e a luz?

Provavelmente, um dos primeiros cientistas a falar de ‘partículas mais velozes que os raios do Sol’ foi Lucrécio, por volta de 50 a.C., em sua famosa obra *De rerum natura*. No século 19 e nos primeiros anos do século 20, já havia estudos a esse respeito, feitos, em particular, pelo físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940), descobridor do elétron em 1897, e pelo físico alemão Arnold Sommerfeld (1868-1951).

A partir de 1905, com o advento da teoria da relatividade restrita, idealizada pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955), difundiu-se a convicção de que a velocidade da luz no vácuo – indicada, no jargão da física, pela letra c – fosse necessariamente o limite superior de toda velocidade. Em 1917, o físico norte-americano Richard Chase Tolman (1881-1948) acreditou ter demonstrado, através da formulação de um paradoxo, que a existência de partículas com velocidades maiores que c permitiria o envio de informações ao passado.

Essa convicção bloqueou por meio século – com exceção de um trabalho isolado, de 1922, do matemático italiano Carlo Somigliana (1860-1955) – as pesquisas sobre velocidades superluminais ($v > c$). Esses estudos só retornariam a partir das décadas de 1960 e 1970, principalmente nos Estados Unidos, com os trabalhos do físico indiano George Sudarshan e colaboradores, e na Europa, com as pesquisas de um dos autores deste artigo (E. Recami) e colegas.

Velozes e lentos

Os objetos superluminais foram chamados táquions (T) pelo físico norte-americano Gerald Feinberg (1933-1992), com referência à palavra grega ταχύς (veloz), que, por sua vez, induziu-nos a cunhar o termo brádion (B), para os objetos ordinários subluminiais ($v < c$), a partir da palavra grega βραδύς (lento). ▶

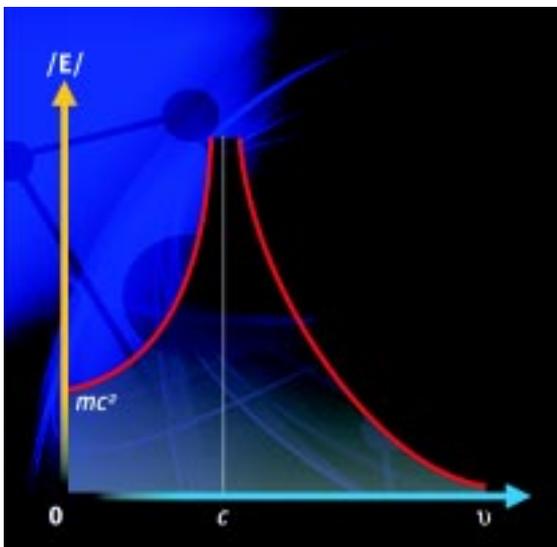


Figura 1. Variação da energia (E) de um objeto livre, de massa m , em função de sua velocidade, segundo fórmula proposta pela teoria da relatividade estendida. Note-se que a reta vertical indicada por c (velocidade da luz no vácuo) representa um limite superior de velocidade para as partículas ordinárias, subluminais (brádions). A curva à direita de c descreve a variação de energia em função da velocidade para objetos superluminais (táquions) – para estes, curiosamente, quanto menor a energia maior sua velocidade, sendo c , portanto, um limite inferior. Nos dois casos, a quantidade de energia tende ao infinito quando as velocidades dos objetos se aproximam de c , tanto pela esquerda quanto pela direita

Em anos recentes, porém, os termos táquion e superluminal caíram, infelizmente, nas mãos – mais espertas do que loucas – de curandeiros e simples charlatães, que passaram a usurpar dinheiro de pessoas ingênuas, vendendo a elas, por exemplo, esparadrapos que curariam várias enfermidades através da ‘emissão de táquions’!

Neste artigo, no entanto, estamos nos referindo a objetos que aparecem em, pelo menos, quatro diferentes setores da física experimental, sugerindo a existência de movimentos superluminais. Por exemplo, na edição de 30 de maio de 2000, o jornal norte-americano *The New York Times* noticiou dois desses experimentos, sendo logo seguido pela imprensa de todo o mundo.

Postulados simples e naturais

Podemos afirmar que, a partir de seus postulados usuais, a teoria da relatividade restrita pode ser generalizada de modo a também englobar objetos

superluminais. Essa extensão foi em grande parte desenvolvida pela escola italo-brasileira, através de uma série de trabalhos iniciados nas décadas de 1960 e 1970, em Campinas e nas cidades italianas de Milão, Catânia e Bérgamo.

Amplamente comprovada até os dias de hoje, a relatividade restrita, de 1905, pode ser construída sobre dois postulados simples e naturais:

1) As leis físicas não são válidas apenas para um observador particular, mas para toda a classe dos observadores ‘inerciais’ (que se encontram em movimento retilíneo uniforme uns em relação aos outros);

2) Espaço e tempo são homogêneos, e o espaço é isotrópico, isto é, o espaço-tempo tem as mesmas propriedades em todos os pontos, e o espaço em todas as direções.

Deixando de lado detalhes matemáticos da teoria, é possível deduzir, a partir desses dois postulados, que há uma e apenas uma velocidade que é *invariante*. E a experiência nos mostra que essa velocidade é c , ou seja, a velocidade da luz no vácuo, a qual equivale a aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo. De fato, a luz tem a característica de apresentar a mesma velocidade quando corremos ao seu encontro ou quando fugirmos dela.

É justamente esse caráter, isto é, o de ter sempre o mesmo valor em relação a todo observador, que faz a velocidade da luz ser absolutamente excepcional – nenhum brádion ou táquion podem ter a mesma propriedade!

Ao norte do Himalaia

Outra conseqüência desses dois postulados é que a energia total de um objeto comum, subluminal, cresce com o aumento de sua velocidade v , tendendo ao infinito à medida que v se aproxima de c . Sendo assim, seria necessária uma quantidade de energia infinita – e, portanto, forças infinitas – para acelerar um brádion até a velocidade da luz.

Esse fato produziu a opinião difusa de que a velocidade da luz não pode ser atingida nem superada. Porém, da mesma forma que os fótons existem – ‘nascendo’, ‘vivendo’ e ‘morrendo’ com a velocidade da luz, sem a necessidade de serem acelerados até ela – podem existir também objetos, os táquions, que sempre viajam com velocidade v maior que c (figura 1).

George Sudarshan ilustrou essa possibilidade através de uma analogia interessante: “Vamos supor que um demógrafo que estuda a população da Índia venha com a ingênua afirmação de que não há pessoas ao norte do Himalaia, dado que nunca alguém superou tais montanhas. Essa seria uma

conclusão absurda. As pessoas da Ásia Central nascem e vivem no norte do Himalaia. Elas não precisaram nascer na Índia e então ultrapassar as montanhas. O mesmo vale para as partículas com velocidades maiores que a da luz”.

Em nossa teoria ‘estendida’ da relatividade restrita – isto é, em sua versão generalizada para também englobar objetos superluminais –, a velocidade da luz também aparece como um invariante, isto é, um limite de velocidade para todos os corpos com massa. Porém, todo valor limite tem dois lados, e podemos nos aproximar dele pela esquerda ou pela direita.

Na realidade, a formulação usual da relatividade restrita é muito limitada: por exemplo, essa teoria pode facilmente ser ampliada de modo a incluir também a antimatéria, cujas propriedades são semelhantes à da matéria, com exceção de alguns parâmetros que são invertidos, como o sinal da carga elétrica.

Mas deixemos de lado a antimatéria e voltemos aos táquions. Uma forte objeção à sua existência se baseia na opinião de que, com a ajuda de táquions, sinais poderiam ser enviados ao passado. Devemos lembrar aqui que a teoria da ‘relatividade estendida’ permite a resolução desses paradoxos causais (figura 2) – paradoxos tanto mais instrutivos e divertidos quanto mais sofisticados.

Ao longo do século 20, vários paradoxos foram propostos. Entre os autores, além de Tolman, estão físicos de várias nacionalidades, como o escocês John Bell (1928-1990), o inglês Felix Pirani, o norte-americano James Edmonds, entre outros.

Não é o caso de descrever esses paradoxos aqui. Em vez disso, vamos falar sobre alguns resultados experimentais importantes que sugerem a realidade física de fenômenos envolvendo velocidades superiores a c .

Quatro evidências

Em *primeiro* lugar, vale destacar uma série de experimentos iniciados em 1971 e que envolvem o estudo de neutrinos, partículas sem carga elétrica e com massa que se supõe extremamente pequena. Esses experimentos parecem indicar que o quadrado da massa de uma das três variedades de neutrinos (mais especificamente, neutrinos associados à partícula múon) é negativo. Mais recentemente, outros resultados parecem indicar que também seja negativo o quadrado da massa de uma segunda variedade de neutrinos, aqueles associados ao elétron. Em ambos os casos, essa relação equivaleria a dizer que esses neutrinos são taquiônicos – ou, pelo menos, que em boa parte sejam taquiônicos.

Em *segundo* lugar, outras observações experimentais – também desde 1971, mas dessa vez em astrofísica – têm revelado a presença de objetos muito velozes expelidos pelo núcleo de vários quasares. Caso os quasares estejam muito distantes da Terra – como geralmente é aceito –, essas velocidades de expulsão seriam então superluminais. Porém, alguns autores renomados, como o astrofísico norte-americano Harlton Arp, alertaram para o fato de que os quasares podem estar mais próximos de

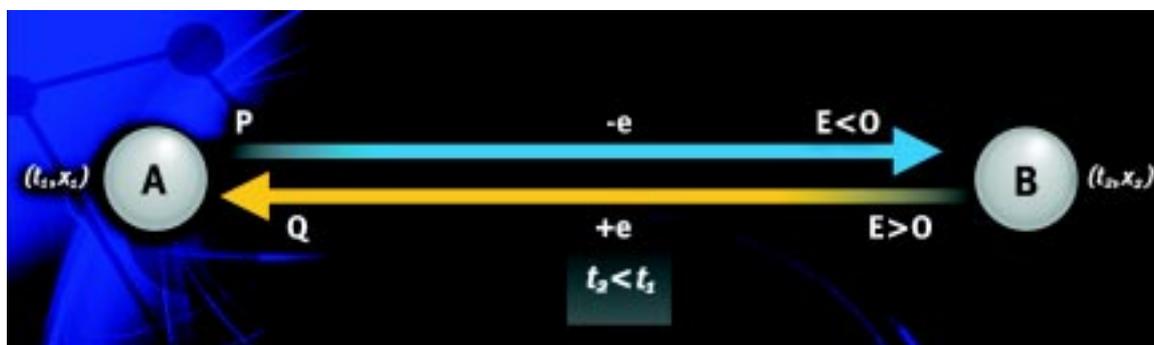


Figura 2. Um táquion que aparece com energia positiva para um observador, poderá aparecer com energia negativa para outro – e viajando com direção temporal invertida, isto é, para o passado! Durante anos, essas duas propriedades (energia negativa e reversão temporal) dificultaram a aceitação da existência de objetos superluminais pelos físicos. Mas esses obstáculos podem ser vencidos com base no chamado ‘princípio de reinterpretção’ de Stueckelberg-Feynman-Sudarshan-Recami. Imaginemos que A e B troquem uma partícula (P) de energia negativa (e carga elétrica $-e$) e que viaje para o passado ($t_2 < t_1$). Para qualquer observador real, esse processo aparece sob a forma de uma troca, desta vez entre B e A, de uma partícula, Q, dotada de energia positiva (e carga elétrica $+e$), viajando para a frente no tempo. Assim, a partícula Q aparecerá, para o observador, como a antipartícula, \bar{P} , da partícula inicial P. O princípio de reinterpretção elimina qualquer movimento para o passado, bem como qualquer energia negativa, e, além disso, permite deduzir a existência da *antimatéria* a partir da teoria da relatividade

nós que o previsto. E, nesse caso, as velocidades em questão poderiam ser subluminais.

Nos últimos anos, no entanto, têm sido descobertas expansões superluminais aparentes no interior de certos objetos celestes – provisoriamente batizados microquasares – que habitam a Via Láctea, nossa galáxia. E, nesse caso, as incertezas sobre as distâncias são de pouca importância. Assim, as expansões observadas poderiam ser superluminais – mesmo que tenham sido tentadas interpretações mais ‘ortodoxas’.

Em *terceiro* lugar, no âmbito da mecânica quântica (teoria que rege os fenômenos na dimensão das moléculas e dos átomos e suas subpartículas), experimentos têm verificado que um fenômeno peculiar do mundo quântico ocorre com velocidade superior a c . Denominado efeito de tunelamento, esse fenômeno tem a ver com a propriedade de partículas subatômicas e de fótons conseguirem atravessar certas ‘barreiras’ (forças de repulsão elétrica ou forças nucleares de coesão, por exemplo) sem ter energia suficiente para isso. Experimentos feitos a partir de 1992 verificaram que esses processos ocor-

rem mesmo com velocidades taquiónicas.

Essas experiências foram feitas, no caso dos fótons, pelo físico alemão Guenter Nintz, na Universidade de Colônia (Alemanha), pelo grupo de Ray Chiao e Aephraim Steinberg, da Universidade de Berkeley (Estados Unidos), por Anedio Ranfagni e colegas, na Universidade de Florença (Itália), e por outros pesquisadores em Viena (Áustria), Orsay e Rennes (França). Esses resultados ganharam vasta repercussão na comunidade científica internacional, bem como na mídia e na literatura não especializada. Foram noticiados pelas revistas de divulgação científica *Scientific American* (Estados Unidos) e *New Scientist* (Grã-Bretanha), bem como pela revista semanal *Newsweek*.

Vale notar que, do ponto de vista da física clássica, fótons ‘em tunelamento’ são, na verdade, um tipo particular de ondas eletromagnéticas (denominadas ondas evanescentes). E que também, a partir da relatividade estendida, já se sabia que essas ondas tinham velocidade maior que c , como foi confirmado através de simulações numéricas. Tudo parece então autoconsistente!

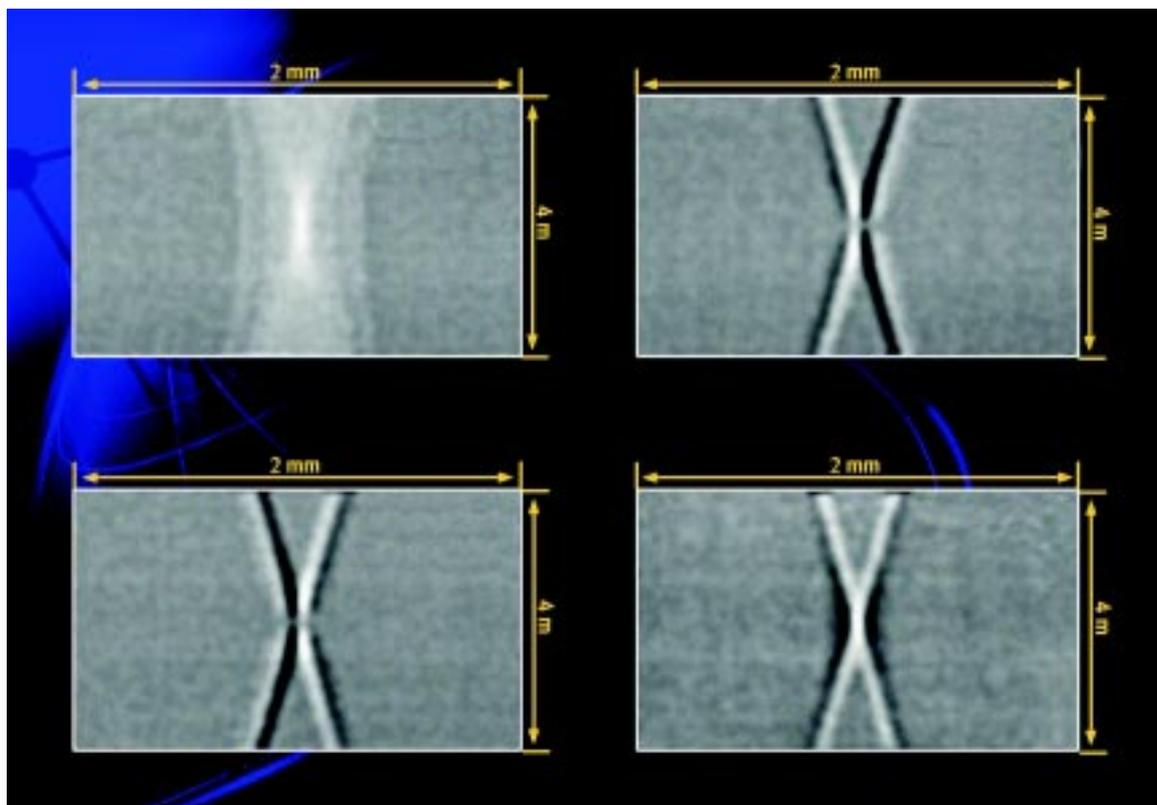


Figura 3. Recentemente, foi descoberto que as equações que descrevem o comportamento das ondas, tanto mecânicas (som, por exemplo) quanto eletromagnéticas (luz), indicam a possibilidade de existência de ondas *localizadas* superluminais – ou supersônicas –, que segundo a relatividade estendida teriam a forma de ‘X’, como foi previsto em 1980. No esquema acima, está uma previsão teórica de ondas superluminais localizadas em forma de ‘X’ para o caso eletromagnético

FOTO:AMC

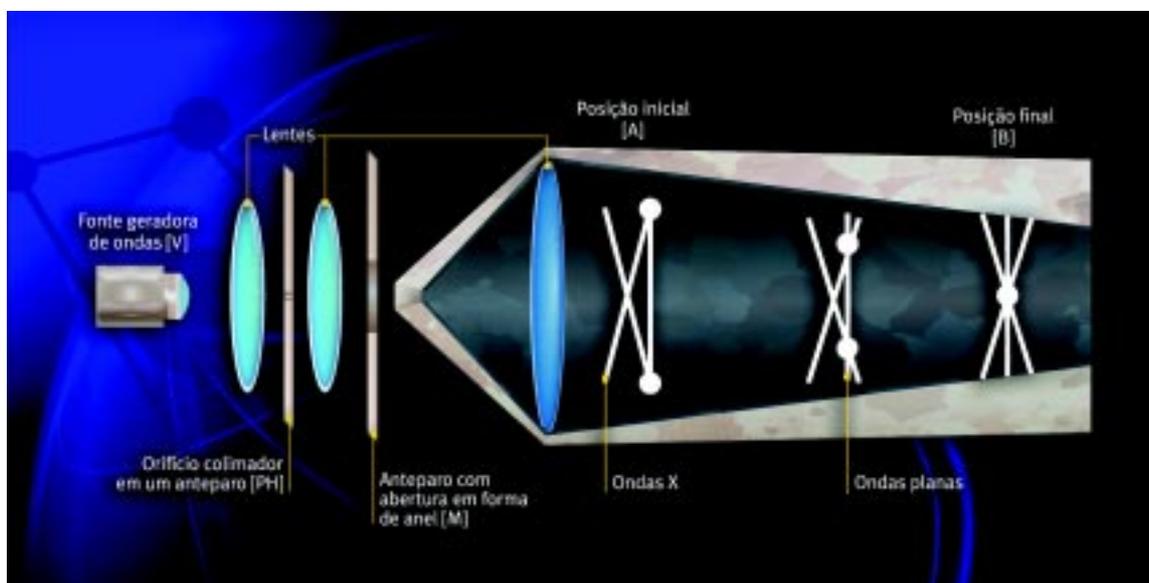


Figura 4. Esquema óptico do experimento que mostrou a produção no vácuo, com luz visível, das ondas descritas teoricamente na figura 3. Observam-se à direita, representadas pelas linhas que formam 'X', as ondas superluminais (ondas 'X'), que perseguem e alcançam as ondas planas, representadas pelas linhas verticais – as quais viajam regularmente com velocidade c . Um experimento análogo foi feito com microondas em Florença (Itália)

Finalmente, em *quarto* lugar, deixando de lado outros ramos do conhecimento, alguns grupos de engenheiros – entre eles, os chefiados respectivamente por Jian-yu Lu, Amr Shaarawi e Peeter Saari – descobriram, em uma série de belos trabalhos, que as equações que descrevem o comportamento das ondas, tanto mecânicas (som, por exemplo) quanto eletromagnéticas (luz), admitem novas soluções, tanto subluminais quanto superluminais, além daquelas já conhecidas.

Esses pesquisadores têm explicado em detalhes como gerar essas novas configurações de ondas – por exemplo, as superluminais (figura 3). E as produziram em experimentos com ondas acústicas e ópticas (figura 4). Essas ondas se propagam, no meio considerado, com velocidades maiores que a do som, no primeiro caso, e que a da luz, no segundo. Além disso, elas se deslocam quase sem distorção, mais uma propriedade muito útil em vários desdobramentos práticos dessa descoberta.

Ondas em forma de 'X'

Outros experimentos interessantes estão em andamento, por exemplo, nos laboratórios de pesquisa da Pirelli Cabos, em Milão (Itália), usando como fonte pulsos de *laser*, bem como na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas.

Mais uma confirmação experimental, feita a partir de uma sugestão dos autores deste artigo, realizou-se em um laboratório do Conselho Nacional de Pesquisas da Itália, em Florença, dessa vez usando microondas (assim como a luz, as microondas também são ondas eletromagnéticas).

O experimento foi feito pelos pesquisadores italianos Daniela Mugnai, Anesio Ranfagni e Rocco Ruggeri, tendo sido publicado na revista especializada *Physical Review Letters*, de 22 de maio de 2000. Esse experimento obteve vasta repercussão na imprensa internacional, juntamente com o trabalho de Lijung Wang e colaboradores, feito no instituto de pesquisas NEC, em Princeton (Estados Unidos), e publicado na revista científica *Nature* (20 de julho de 2000).

Essas ondas superluminais (ou supersônicas), tendo tipicamente a forma de 'X' predita em 1980 com base na relatividade estendida, são até o momento a melhor verificação dessa teoria. É curioso que a primeira aplicação dessas ondas de tipo 'X' – justamente por causa de sua propriedade de movimento quase sem deformação – está em progresso na área médica, precisamente no campo da imagem por ultra-sonografia.

Há apenas alguns anos, a hipótese de que os 'táquions' poderiam ser usados para a obtenção direta de ecografias em três dimensões teria levantado a incredulidade de qualquer físico... incluindo os que assinam este artigo. ■

Sugestões para leitura:

- RECAMI, E., FRACASTORO-DECKER, M. e RODRIGUES JR., W. A., 'Táquions', *Ciência Hoje*, vol. 5, nº 26, 1986.
- RECAMI, E., 'Classical Tachyons and Possible Applications', *Rivista Nuovo Cimento*, vol. 9, nº 6, pp.1-178, 1986;
- OLKHOVSKY, V. S. e RECAMI, E., 'Recent Developments in the Time Analysis of Tunnelling Processes', *Physics Reports*, vol. 214, pp. 339-357, 1992.
- NIMTZ, G. e ENDERS, A., 'On Superluminal barrier traversal', *Journal de Physique-I*, vol. 2, p.1693, 1992.
- LU, J.-y. e GREENLEAF, J. F., 'Experimental verification of non-diffracting 'X-waves'', *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 39, p. 441, 1992.
- SAARI, P. e REIVELT, K., 'Evidence of X-shaped propagation-invariant localized light waves', *Physical Review Letters*, vol. 79, pp. 4135-4138, 1997.