



Teoria da Relatividade de A. E.

Emiliano Pinto, Aluno do 2º Ano do Mestrado em Física Nuclear e Partículas, FCUL

Quando a minha sobrinha fez 4 anos pediu-me para adivinhar a idade dela. Como não me tinha deixado brincar com as prendas novas, decidi aborrecê-la com a história do tempo...

A vida em sociedade tal como a conhecemos só é possível se todas as pessoas concordarem na medição do tempo. De facto, no séc. XIX, com a revolução industrial e o aparecimento da máquina a vapor, a Humanidade foi subitamente confrontada com esta realidade. Sempre foi necessário que os habitantes de determinada região concordassem no tempo medido para que começar o trabalho às horas certas ou ir à missa fosse possível mas, com a globalização, passou a ser também necessário coordenar o tempo entre todas as regiões. Sem isto, algo tão simples como ter um horário para os comboios era impossível.

$$\begin{aligned} \xrightarrow{x_1/2} + \xrightarrow{x_2/3} &= \xrightarrow{x_1/3} \\ \frac{x_1/2}{t} + \frac{x_2/3}{t} &= \frac{x_1/3}{t} \\ v_{1/2} + v_{2/3} &= v_{1/3} \end{aligned}$$

Assim, é evidente que todos têm de medir os mesmos intervalos de tempo. Isto nunca esteve em discussão (até ao séc. XX) e Galileu usou este princípio para obter equações que relacionam medições de velocidades realizadas por observadores diferentes (Relatividade de Galileu).

Partindo do princípio que todos os observadores concordam nas medições de tempos (e distâncias!), Galileu concluiu que as velocidades eram aditivas. Dito de outra forma, se um barco se afastar do porto a 50 km/h e o comandante ordenar que um segundo, mais rápido, vá a 40 km/h em relação ao seu navio e na mesma direção, alguém no porto irá ver o segundo barco a deslocar-se a 90 km/h. Se o comandante mandar outro barco atrasar-se em relação ao seu, à mesma velocidade (40 km/h), as pessoas no porto irão vê-lo a afastar-se a 10km/h.

Este resultado é muito cativante, muitos dirão mesmo que é evidente: corresponde precisamente àquilo que nós vemos no dia-a-dia, mas... tem um problema. Se for verdade, em teoria é possível atingir qualquer velocidade usando um esquema semelhante a uma boneca russa: "basta" ter um objecto que lança um segundo para a frente, depois esse lança outro, que lança outro, que l... Ora, sabe-se que é impossível ultrapassar a velocidade da luz. Por isso esta teoria, tão intuitiva, tão "evidente", tem forçosamente de estar errada! O tempo que os diferentes observadores medem **não pode** ser necessariamente igual! Para e tenta absorver todas as implicações desta afirmação: afinal, a minha sobrinha não tinha 4 anos, porque os seus pais podiam discordar quanto à sua idade, já que os seus relógios não têm de medir o mesmo tempo. A idade dela não está bem definida, pois depende de quem a mede.

Se ainda tens dúvidas pensa no que significaria andar mais rápido que a luz: se o Usain Bolt corresse mais rápido que a luz, os fotões que ele refletiria ao partir iriam cortar a meta depois dele (e dos que ele emitiria nesse momento). Quem estivesse na meta vê-lo-ia a ganhar a corrida antes de o ver partir. Toda a gente sabe logo no início que ele vai ganhar, mas isto não pode acontecer pois viola o princípio de causalidade (o efeito é observado antes da causa), a fundação de **toda** a ciência.

Diferentes observadores a medirem intervalos de tempos diferentes são até fáceis de imaginar: basta que a informação não seja transmitida instantaneamente entre o acontecimento e o observador. Imagine-se que o Ezequiel Valadas e o Aniceto Barbosa, que são muito amigos, gostam tanto um do outro que o 1º envia uma carta ao 2º (que vai a cavalo em direção a Fiães) a cada hora que passa, por pombo-correio.



Na primeira carta, o Ezequiel escreve 0h, na segunda 1h, e assim sucessivamente. Ele "vê" o seu tempo a passar de forma normal, isto é, envia uma carta com 1h a mais a cada hora que passa. Já o Aniceto irá ver as cartas a chegarem atrasadas mas, mais importante que isso, recebe-as com mais de uma hora de intervalo, porque entre a receção de cada carta ele já se afastou mais um pouco. Como a mensagem viaja a uma velocidade finita, leva mais tempo a chegar até ele, e assim a 1ª chega às 14h, a 2ª às 15h30, a 3ª às 17h, ... Por isso, enquanto o Aniceto Barbosa "vê" o seu tempo a passar normalmente, para ele o do outro está a passar mais devagar: olhando para as cartas, ele descobre que passou apenas 1h para

o Ezequiel, mas para si já passou 1h30: os dois discordam quanto ao intervalo de tempo entre as duas cartas escritas pelo Ezequiel Valadas. Para além disso, se o Aniceto também escrever cartas e as enviar ao Ezequiel, acontece o oposto: O Aniceto "verá" o seu tempo a passar normalmente, escrevendo uma carta por hora, e é o outro quem vai ver o tempo entre as cartas ser superior a uma hora.

Simplificando, quando cada um vê um acontecimento no seu referencial (escreve as cartas) acha que o seu tempo - vamos chamar-lhe tempo próprio, Δt_0 - passa normalmente, mas quando o vê no referencial do outro (recebe as cartas) vai achar que está a acontecer em câmara lenta¹.

Como os tempos medidos por observadores diferentes não são iguais, as velocidades deixam de ser aditivas. Na relatividade restrita o caso mais evidente é o da luz (o mensageiro) que tem a mesma velocidade para todos os referenciais inerciais (parados ou em movimento rectilíneo uniforme): Uma bicicleta e um foguetão "veem" a luz a passar por eles com exatamente a mesma velocidade. E se a velocidade da luz ($c = \Delta x / \Delta t$) é a mesma para o Ezequiel e o Aniceto mas os intervalos de tempo não, então as distâncias também não são!

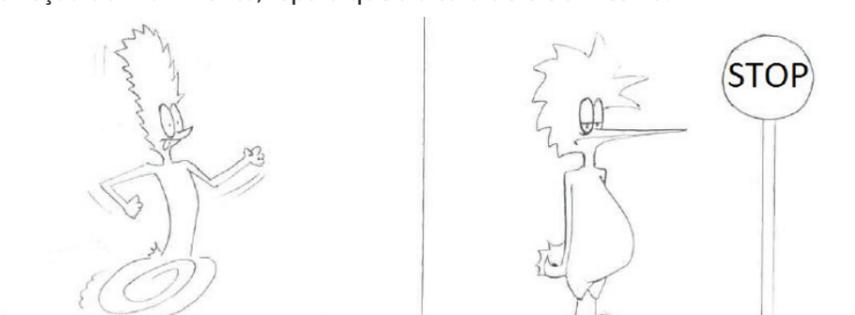
Se o Ezequiel, que está parado, medir o comprimento da estrada - chamemos-lhe comprimento próprio, Δx_0 - não vai obter o mesmo valor que o Aniceto, que passa por ela muito rápido, com velocidade v . Se ele mandar um pombo-correio quando passa pelo início da estrada e outro no final, o Ezequiel vai registar o tempo entre as recepções e, como mede um tempo maior que o Aniceto, também mede um comprimento maior (com o mesmo factor de proporcionalidade). Por outras palavras, se alguém vir o galo Inácio a correr irá achá-lo muito formoso e atlético, mas se estiver parado notará que o tamanho da barriga dele afinal é maior.

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad \Delta x_0 = \gamma \Delta x$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Se um objecto se estiver a movimentar será mais pequeno do que se estiver parado... mas atenção, só na direção do movimento, repara que a altura dele é a mesma!

Conclusão: se passares a vida a correr à velocidade do Usain Bolt, eu, que sou preguiçoso e fico parado, irei ver-te com menos 1 fm ($10^{-15}m$) de barriga e, se chegares aos 80 anos, ver-te-ei a viver mais 2 microssegundos. Ou seja, isto não serve para nada?!!



Na verdade serve. Este efeito é negligenciável para ti, mas se não fosse tido em conta no GPS (os satélites andam bem mais rápido que o Usain Bolt e funcionam com precisões muito superiores às que precisamos no nosso dia-a-dia), o relógio de cada satélite atrasar-se-ia 7 microssegundos por dia em relação ao teu, o que significa um aumento do erro na posição de... 2 km por dia! Para além disso, estas conclusões motivaram Einstein a chegar à equação mais conhecida da física ($E=mc^2$) e a desenvolver a teoria da relatividade geral... mas isso são outras histórias. ■

¹ Na relatividade do Aniceto e do Ezequiel o efeito muda se estes se estiverem a aproximar. Na relatividade restrita de Albert Einstein o efeito é sempre o mesmo, independentemente do sentido do movimento.