**ESPAÇO OU TEMPO?**

Após estudar um pouco a dilatação do tempo e a contração do comprimento uma série de duvidas podem passar pela nossa cabeça:

* É o espaço que contrai ou o tempo que dilata?
* O tempo pode dilatar sem acontecer nada com o espaço?
* O espaço pode contrair sem acontecer nada com o tempo?
* Se a velocidade da luz é absoluta, e calculada pela razão entre o espaço e o tempo, porque ambos não são absolutos?

Essas perguntas aparentemente bobas, ou mesmo sem resposta, são importantíssimas e nos obrigam a compreender outra consequência fundamental da Relatividade. Refletindo sobre a natureza matemática do espaço e do tempo Minkowski chegou em conclusões interessantíssimas.

**DISTÂNCIA ENTRE DOIS EVENTOS?**

Vimos anteriormente que um evento é determinado por uma posição no espaço e um momento do tempo. Para simplificar, consideremos apenas a coordenada x do espaço. Logo, um evento pode ser determinado par uma posição em x e um momento em t. Com isso podemos analisar eventos com um gráfico X x T, ou seja, o evento será um ponto neste gráfico. De certa forma, consideramos o evento como um ponto no gráfico, ou seja, como um ponto no espaço tempo. Mas se olhamos para o evento como um ponto no gráfico, podemos calcular a distância entre os dois pontos, melhor ainda, podemos calcular a “distância” entre dois eventos???

Se usarmos o gráfico para isso podemos aplicar a relação matemática: $D=\sqrt{∆x^{2}+∆t^{2}}$ para determinar essa distância. Entretanto, na Física não podemos somar “coisas” com unidades distintas. Com isso, precisarmos adicionar um termo em nossa equação (k) que garanta que ambas trabalhem com as mesmas unidades: $D=\sqrt{∆x^{2}+k.∆t^{2}}$. Só que o valor de k deve funcionar para toda e qualquer situação, ou seja, garantir a constância da relação acima.

Podemos traçar uma relação simples entre posição e tempo através da velocidade:

$$v=\frac{∆x}{∆t}\rightarrow v^{2}=\frac{∆x^{2}}{∆t^{2}}$$

Utilizando a constante c no lugar da velocidade: $c^{2}=\frac{∆x^{2}}{∆t^{2}}$, desenvolvendo temos:

$$c^{2}∆t^{2}=∆x^{2}\rightarrow 0=∆x^{2}-c^{2}∆t^{2}=cte$$

Portanto se utilizarmos $k=-c^{2}$ satisfazemos tanto a necessidade dimensional quanto de constância da relação. Portanto:

$$D=\sqrt{∆x^{2}+(-c^{2})∆t^{2}}$$

Agora, vamos analisar a seguinte sequência de eventos, duas explosões em um dado referencial S. A primeira (evento1) na posição x = –L e no instante t = 0 e a segunda (evento2) na posição x = L e no instante t = 0. Logo neste referencial o intervalo de espaço entre os eventos vale $∆x=2L$ e o intervalo de tempo é nulo.

Agora tome outro referencial S’, com velocidade constante em relação a S. Supondo que no instante t = t’ = 0, x = x’ = 0. Aplicando as transformações de Lorentz, temos que para o referencial S’ as coordenadas do evento1 valem x’ = –γ.L e t’ = γ.v.L/c2. Já para o evento 2 temos x’ = γ.L e t’ = –γ.v.L/c2. Logo neste referencial o intervalo de espaço entre os eventos vale $∆x'=2γL$ e o intervalo de tempo vale $∆t^{'}=2γ.v.L/c^{2}$.

Mas qual seria a distância entre esses dois eventos? Calculando a distância no referencial S temos

$$D=\sqrt{(2L)^{2}-c^{2}(0)}=\sqrt{(2L)^{2}}=2L$$

ou seja, uma reta entre –L e L, pois como os eventos são simultâneos temos que considerar apenas o espaço. Já no referencial S’ temos

$$D^{'}=\sqrt{\left(2γL\right)^{2}-c^{2}\left(\frac{2γvL}{c^{2}}\right)^{2}}=\sqrt{\left(2L\right)^{2}γ^{2}-\left(2L\right)^{2}γ^{2}c^{2}\left({v^{2}}/{c^{2}}\right)^{2}}$$

$$=\sqrt{\left(2L\right)^{2}}.\sqrt{γ^{2}\left(1-c^{2}\left({v^{2}}/{c^{2}}\right)\right)}=\sqrt{\left(2L\right)^{2}}.\sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{1-{v^{2}}/{c^{2}}}}\right)^{2}\left(1-{v^{2}}/{c^{2}}\right)}$$

$$=\sqrt{\left(2L\right)^{2}}.\sqrt{\frac{1}{1-{v^{2}}/{c^{2}}}\left(1-{v^{2}}/{c^{2}}\right)}=\sqrt{\left(2L\right)^{2}}=2L$$

**ESPAÇO DE MINKWOSKI**

Logo, a “distância” entre os eventos é a mesma em ambos os referenciais. Esse resultado aparentemente simples tem um significado surpreendente, já que aponta para algo que é invariante. Mais uma vez a simetria se revela, nos lembrando que a teoria da relatividade se estrutura em invariâncias. Portanto, a “distância” entre eventos é absoluta, ou seja medido da mesma maneira em qualquer referencial inercial.

Para calcular essa “distância”, tivemos que considerar o tempo e o espaço em conjunto, ou seja, vemos que ambos são intrinsicamente associados. Mesmo que individualmente espaço e tempo não sejam absolutos, na teoria de Einstein, em conjunto o são. Com isso, não podemos mais pensar no espaço e no tempo como entidades separadas, mas num espaço-tempo, cujas distâncias são determinadas por:

$$∆S^{2}=∆x^{2}+∆y^{2}+∆z^{2}-c^{2}∆t^{2}$$

Esse espaço-tempo quadri-dimensional que combina as 3 dimensões espaciais com a dimensão temporal ficou conhecido como espaço de Minkowski, já que foi apresentado ao mundo em 21 de setembro de 1908, pelo antigo professor de Einstein, Hermann Minkowski. Em tal ocasião ele disse:

*“Meus Senhores: As considerações sobre espaço e tempo que desejo expor-vos brotaram do terreno da física experimental. Aí reside sua força. A sua tendência é radical. Daqui em diante os conceitos de espaço e de tempo, considerados como autônomos, vão desvanecer-se como sombras e somente se reconhecerá existência independente a uma espécie de união entre os dois* [o espaço-tempo].*”*

Portanto, na relatividade medimos distâncias entre eventos, que são entidades absolutas, no espaço-tempo absoluto. Logo, não podemos tratar contração do espaço e dilatação do tempo como coisas distintas, mas como transformações no espaço-tempo. Com isso as transformações de Lorentz se concretizam como as lentes que nos permitem olhar para diferentes referenciais.