

O QUE É ESPAÇO E TEMPO II

A Teoria da Relatividade está baseada em dois princípios:

1) Princípio da Equivalência

As leis da Física são as mesmas em qualquer referencial. Você jogando uma bola para cima dentro de um voo SP-RJ verá o mesmo efeito que vê quando jogava a bola para cima enquanto aguardava o embarque. Com isso, você nota que é impossível, através de uma experiência desse tipo, comprovar se você está em movimento ou não. Um observador externo (no chão ou no voo) notará a mesma coisa que você nota. Em geral, qualquer observador acha que ele está parado e o resto do universo está se movendo (e é isso que a Lua "pensa" em relação a você). Dentro de um trem, olhando apenas para outro trem, você não saberá dizer qual está parado e qual está em movimento quando um deles se movimenta (algumas pessoas chegam a perder o equilíbrio, sendo que seu trem nem está se movendo).

Na ausência de forças que modifiquem o movimento (fricção, resistência do ar, por exemplo) não dá para saber se você está em movimento ou não. O movimento (ou o não movimento) absoluto não existe. O movimento é relativo.

2) A Velocidade da luz é a mesma em qualquer referencial.

A velocidade da luz é representada por c e equivale a 300.000 Km/s. Se você está correndo com seu carro a 100Km/h e seu amigo no carro dele ao lado do seu, a 100Km/h também, vocês medirão que estão a 0 Km/h cada um. Alguém que estiver parado à beira da estrada medirá 100 Km/h para cada um de vocês. Se eu estiver perseguindo você dois a 99% de suas velocidades, ou seja, a 99 Km/h, medirei vocês se afastando de mim a 1 Km/h.

Se eu me mover a 99% da velocidade da luz para perseguir um fóton e calculasse a velocidade dele, veria que ele está se afastando a 100% da velocidade da luz (a c) em vez de 1% ($0.01c$) como seria de esperar!!! Então um fóton (sempre à velocidade c) vai medir c para um companheiro seu. Um terceiro fóton parado em relação aos outros dois (supondo que um fóton possa estar parado), vai medir c para cada um dos dois!!!

Para um fóton eu estou sempre parado. Se ele sempre me vê, não vou estar na velocidade $-c$ (com velocidade c no sentido oposto). Estando eu parado, meu relógio terá parado, na visão do fóton.

Por que o fóton acha que meu relógio está parado?

Suponha que você seja um fóton. Para você tudo é normal. Você vê TV, vai à escola, dirige seu carro, olha o seu relógio ticando segundo por segundo, etc. etc. Porém, eu não sou um fóton. Vivo nesse mundo aqui. Para mim tudo é normal. Vejo TV, vou à escola, dirijo meu carro por aí, vejo o meu relógio ticando segundo por segundo, etc. etc.

Então, você olha aqui para meu mundo e me vê. Você sabe que a distância que dirijo de casa até a escola é exatamente igual à distância que você dirige de sua casa até sua escola. No seu relógio, você gasta 1h, mas, para seu espanto você vê que eu gasto 10h de seu relógio para chegar na minha escola, apesar de eu medir 1h no meu relógio.

Eu olho pra você e vejo seu relógio ticando 10 vezes mais rápido do que o meu e cobrindo o espaço de 1h, desde que saí de casa e cheguei na escola. Para mim, 1h se passou para você; para você, 10h se passaram para mim. Foi dado 1h para mim e 1h para você, mas, você vibra tão rápido que você só utiliza 1/10 dessa 1h, enquanto eu utilizo 10/10 dessa 1h hora. Efetivamente, o tempo fica esticado para você. Veja, 1h não é multiplicada por 10, mas, dividida por 10, o que equivale a manter sua hora em 1 e fazer a minha igual a 10. Então, ao se passar 1h para você, terão se passado 10h para mim. Isto é, enquanto você envelhece 1h, eu envelheço 10 horas!

O nó a ser desatado é: relógio que tica mais rápido faz a pessoa ficar velha mais rapidamente, enquanto relógio que tica mais devagar faz a pessoa ficar velha devagar. Então, como que envelheço mais rápido se o teu relógio é que está ticando mais rápido?

Ticar mais rápido não significa cobrir um espaço maior. Significa passar por mais pontos para cobrir a mesma distância. Para isso, para passar pelos pontos extras, será necessário ser mais rápido.

Para ir de 1 até 10, vou assim: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 9 10. Para isso, gastei um tempo X. Para cobrir a mesma distância, tendo como limite final o 5, tenho que ser mais rápido, passando pelos pontos 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5. Eu poderia dizer que, no primeiro caso, passaram-se 10 anos, enquanto no segundo caso passaram-se 5 anos. Quanto mais rápido eu ficar, menor esse intervalo vai ficando. Próximo à velocidade da luz, esse intervalo de tempo é praticamente nulo, como se o tempo tivesse congelado, como se o relógio tivesse parado de funcionar.

O fóton acha que teu relógio está parado porque ele faz tudo extremamente rápido, apesar dele achar que está com velocidade normal. Ao se aproximar da velocidade da luz, o intervalo de tempo com que o fóton faz suas coisas normais vai ficando cada vez menor. Então, no teu modo de ver, é como se o relógio do fóton estivesse passando por tantos pontos que, praticamente, ele não sai do lugar. Para você, o relógio do fóton (em relação ao teu relógio) está parado, enquanto o teu relógio está indo a todo vapor. Você está envelhecendo rapidamente e o fóton não.

Imagine que você seja o ponteiro de segundos de um relógio e teu amigo seja o ponteiro de minutos. Suponha que o ponteiro de horas marque a passagem da idade de cada um de vocês. O ponteiro de segundos vê o ponteiro de horas passar mais devagar do que o ponteiro de minutos admitiria. O ponteiro de horas vai passar mais rápido para o ponteiro de minutos do que para o ponteiro de segundos. Então, o teu amigo vai envelhecer mais rapidamente do que você!

Nenhum objeto que tenha massa, como o corpo humano, pode atingir uma velocidade igual à da luz porque, para atingir aquela velocidade, o corpo tem que acelerar. Para acelerar um corpo é necessária energia (força). Porém, à medida que um corpo acelera, ele ganha uma massa aparente. Chega um ponto, próximo à velocidade da luz, que a energia necessária para levar o corpo a c se torna infinita (os acréscimos passam a ser nulos). Com isso, o corpo não consegue acelerar mais. Isso é o que diz a fórmula $E = mc^2$, ou $c^2 = E/m$ (c^2 é um valor constante; se m cresce, E tem que crescer).

Se você viajar à velocidade da luz alcançará os raios que vêm de trás de você e enxergará (olhando para a frente) coisas que estão atrás de você, como se tivesse, simultaneamente, olhos frontais e traseiros! Muito louco.

Gravidade causa aceleração e, portanto, aumenta a velocidade de um objeto que esteja caindo para o corpo que está causando sua aceleração. Conforme a força gravitacional desse corpo, a velocidade do objeto pode chegar próxima à velocidade da luz. Isso é o que ocorre quando o corpo é um buraco negro. O buraco negro, praticamente, é um túnel infinito no espaço para dentro do qual são acelerados objetos que estejam em sua proximidade. Raios de luz que penetrarem no buraco negro nunca encontrarão uma superfície refletora, pois, a luz ficará caindo dentro dele para sempre. Aqui, no caso, não se verá uma luz no fim do túnel, mas, poderemos ver uma luz no início do túnel!

Se o objeto que cai dentro de um buraco negro for uma nave espacial, ao chegar próximo à velocidade da luz, um relógio que estiver na nave parecerá estar parado para nós na Terra. O tempo estará passando lentamente para o piloto e rapidamente para nós aqui. Na visão do piloto, tudo estará normal, porém, se ele escapar do buraco negro e voltar para a Terra, ele chegará aqui num futuro muito distante para nós e em pouco tempo para ele, teoricamente.

Como a gravidade é entendida como o resultado de um encurvamento do espaço-tempo pela ação de uma massa e sendo a velocidade da luz constante, imutável, então, com a dobra do espaço aumenta, o que força um aumento na medida do tempo, por $v = e/t$ ou $c = e/t$.

A gravidade afeta o tempo porque ela afeta o espaço. Como o tempo é uma característica do espaço (se não há movimento no espaço - ou persistência no espaço - não há como medir tempo), ele também é afetado.

A gravidade causa um encurvamento num raio de luz. Não que ela aja nele diretamente, mas, devido à curvatura do espaço, a luz é forçada a seguir uma trajetória curva. Novamente, a causa primária é a massa.

Se você está na beira de uma estrada observando os veículos passarem, notará que você tem uma boa ideia do comprimento daqueles veículos que passam a velocidades baixas, mas, terá a impressão de que aqueles que passam com velocidades altas são mais curtos do que realmente são, da mesma maneira que um objeto distante parece menor do que realmente é. Espaço se confunde com tamanho. O espaço ocupado é a mesma coisa do tamanho quando o objeto é retirado dali com rapidez suficiente.

Na figura a seguir, um piloto em uma nave viajando próximo à velocidade da luz dispara um laser sobre uma superfície que o reflete de volta para a nave (linha vermelha). Parado em relação à superfície, uma pessoa observa essa experiência do piloto. Pelo fato da velocidade da luz ser constante, o espaço percorrido pela luz do laser será maior para o observador que, conseqüentemente, vai medir um tempo maior do que aquele que o piloto mediu.

Quando a nave já estiver lá frente, o piloto dirá que ele disparou o laser já há algum tempo e que sua experiência terminou naquele tempo, enquanto que, para o observador, a experiência está terminando agora (setas verde e preta).

Relativamente, o intervalo de tempo passou mais rápido para o piloto, enquanto está alongado para o observador. Um tempo curto que passa para o piloto equivale a um tempo longo que passa para o observador.

À velocidade da luz, tudo parecerá encurtado para o piloto na nave viajando à velocidade da luz. Tudo na nave encurta na mesma proporção, o que implica que, para o piloto, tudo está normal.

Para um observador externo, a nave parecerá encurtada. Como isso depende do observador (seja o piloto na nave, seja a pessoa em terra), nada mais é que uma ilusão de óptica.

Sendo c constante, se o espaço aumenta, então o tempo tem que aumentar: $v = e/t$

$e = v \cdot t_0$

$t_N \neq t_0$

Extraindo a raiz quadrada dos dois lados:

$$\sqrt{t_N^2} = \sqrt{t_0^2 \left[1 - \frac{v^2}{c^2} \right]} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_N = t_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_0 = \frac{t_N}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Tempo medido pelo observador em terra = t_0
Tempo medido pelo piloto = t_N
Velocidade da nave medida em terra = v
Velocidade da luz = c

Equations:

$$(c \cdot t_0)^2 = (c \cdot t_N)^2 + (v \cdot t_0)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c^2 \cdot t_0^2 = c^2 \cdot t_N^2 + v^2 \cdot t_0^2 \Rightarrow$$

Dividindo tudo por $c^2 \Rightarrow t_0^2 = t_N^2 + \frac{v^2}{c^2} \cdot t_0^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow t_N^2 = t_0^2 - \frac{v^2}{c^2} \cdot t_0^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_N^2 = t_0^2 \left[1 - \frac{v^2}{c^2} \right]$$

Text:

c^2 é extremamente grande, o que faz v^2/c^2 ser, praticamente, zero. Isso faz o denominador valer raiz quadrada de 1, que é 1 mesmo, tornando t_N praticamente igual a t_0 . Porém, à medida que v se aproxima de c , t_0 começa a aumentar muito, pois, v^2/c^2 se aproxima de 1, levando t_N a ser dividido por números cada vez mais próximos de zero. É como se o tempo parasse para os tripulantes da nave e passasse rapidamente para quem está em terra. Essa seria a visão de quem está em terra. Os tripulantes concluiriam o oposto (tempo passando mais rápido para eles do que para quem está em terra).

Com v abaixo de c ($c > v$) o tempo passa mais devagar para os tripulantes do que para quem está em terra. Efetivamente, os tripulantes estarão indo para o futuro de quem está em terra.

Se v ultrapassasse c ($c < v$), efetivamente os tripulantes iriam para o passado de quem está em terra, mas, como se vê, isso não é possível pois resultaria em raiz quadrada de um número negativo.

Em todos os casos, tudo pareceria normal na nave para os tripulantes, assim como tudo pareceria normal em terra para quem estivesse em terra. Cada grupo veria seus relógios batendo normalmente, mas, não seria a mesma coisa quando um grupo verificasse o outro.