

Albert Einstein A vida dele começou a mudar quando se fez a pergunta: “Como seria viajar na velocidade da luz?”, isso por volta do final do século XIX. Até esta data, o universo era explicado em grande parte pelas equações do movimento de Newton. Antes de Einstein, os cientistas (?) haviam desenvolvido a teoria do éter, que era um material invisível, incompressível, imóvel, que preenchia todo o vácuo. Essa invenção existia para que as coisas no universo pudessem ter um movimento absoluto, *em relação ao éter*. Embora os cientistas achassem que só faltava medir o deslocamento da terra em relação ao éter, encontraram todas as dificuldades para medir isso. A solução de Einstein, foi radical: era difícil medir o movimento absoluto, porque NÃO EXISTE MOVIMENTO ABSOLUTO. Todo movimento é relativo a alguma coisa. Daí a origem do nome da teoria: Teoria da Relatividade. De quebra, ele aboliu o éter, dizendo que ele era desnecessário.

Nessa altura, já se havia medido a velocidade da luz, que era de 300.000 Km/seg e a curiosidade era que ela não sofria nenhuma variação, medindo sempre o mesmo valor.

Einstein começou sugerindo que as velocidades deveriam ser medidas como frações da velocidade da luz, considerando esta como um valor absoluto. A luz anda muito rápido. Em 1 segundo, ela dá a volta 7 vezes no planeta Terra. Vai e volta à Lua em 2 segundos e demora 8 minutos e pouco para vir do Sol até a Terra.

Já existia faz tempo o “Princípio da Relatividade” que diz *as leis da natureza são as mesmas, esteja você parado ou em movimento uniforme em linha reta*. Uma consequência desse princípio diz que as leis não são afetadas pelo movimento, nenhuma máquina, experiência ou observação será afetada: logo nenhuma medida pode ser feita para afirmar se você está parado ou se movendo em MRU.

Einstein imaginou o que aconteceria se ele estivesse dentro de um vagão num trem andando à velocidade da luz (*c*, para abreviar). Ao olhar para trás, ele não veria nada: os raios da luz andariam em *c*, mas você também estaria em *c*, logo eles (os raios) nunca lhe alcançariam. Mas pelo princípio da relatividade, nenhuma medida pode ser feita para garantir que você está se movendo... Ele viu uma incongruência. Se o Princípio da relatividade está correto, o vagão tem de parecer normal e a luz tem que se comportar direitinho.

Aqui começaram as coisas estranhas: se você estiver correndo a 5 km/h e arremessar uma pedra a 3 km/h, a pedra vai sair de você à velocidade de 5+3=8 km/h. É o efeito Doppler que ouvimos ao passar ao lado de um carro de bombeiro correndo desembestado.

Imaginava-se que se um corredor a 3 m/s portasse uma lanterna, a luz sairia dela a *c* + 3, pelo mesmo fenômeno do bombeiro. Einstein concluiu que isso não era verdade: a luz sairia sempre a *c*, independente da velocidade do corredor.

Para aprofundar o raciocínio, ele se perguntou “o que é a velocidade?”. A resposta foi *a medida do*

TEMPO necessário para percorrer certa distância. O mistério parecia estar no tempo. E ele continuou o raciocínio: construiu um relógio (imaginário), formado por 2 espelhos separados por uma distância conhecida. Cada vez que a luz batesse num dos espelhos, o relógio contaria uma unidade. Não é um relógio muito prático, se os espelhos estiverem a 10cm, o relógio vai bater 1 bilhão de vezes em 1 segundo. Ainda bem que é um relógio imaginário.

Agora Einstein imaginou um amigo segurando esse relógio e correndo a *c* ÷ 2. Um observador veria a pontinha de luz correndo distâncias maiores do que o corredor amigo veria (este continuaria vendo o ponto subir e descer na vertical). Uma conclusão apressada (e errada): quanto mais rápido o amigo corre, mais veloz a luz fica. A velocidade é constante, e se a luz tem que andar mais, ela vai levar mais tempo para dar a batida. Logo o tempo para o amigo PASSA MAIS DEVAGAR. Tempo aqui inclui tudo: o batimento do coração, a velocidade do pensamento...

Isso demorou para ser descoberto porque nas velocidades do dia a dia é quase imperceptível: Se você acertar dois relógios comuns e colocar um deles num vaicúlo andando a 75 Km/h, e compará-los 1 ano depois, o atraso do relógio que se locomoveu é de 1 seg.

Levando este raciocínio ao extremo, Einstein descobriu que nada no universo pode alcançar a velocidade da luz. À medida que se vai mais rápido e mais rápido o tempo começa a passar cada vez mais devagar. Ao chegar a *c* o tempo para.

Outra coisa que ele descobriu é que o espaço encolhe nas altas velocidades. É a única maneira de um observador não perceber que o tempo passa mais devagar (o princípio da relatividade aí de novo).

Uma prova real disso tudo é dado pela partícula méson mi, que é produzida pela radiação gama (e pelos aceleradores de partículas na Terra). Eles têm uma meia-vida de 4 milionésimos de segundo. Na natureza se formam a 10Km da superfície da Terra. Os méson mi são identificados no nível do mar, mas não podem ter sido formados aqui (por falta da radiação que é filtrada pela atmosfera). Faça-se uma conta: para percorrer 10Km em menos de 4 milionésimos, eles teria que ter a velocidade de 8c. A única explicação possível é que eles andam a *c* e o tempo para eles passa mais devagar. Para um observador ele teria vivido 40 milionésimos, mas para o méson mi, ele viveu apenas 4, andando perto de *c*.

Um detalhe interessante é que quando Einstein publicou esta teoria (1905) o artigo não continha nenhuma referência bibliográfica. Logo depois da publicação da Teoria, um ex-professor de Einstein, chamado Minkowski, propôs uma explicação elegantíssima para o acima exposto. Não é tempo que se espicha e o espaço que se encolhe. É que o tempo e o espaço estão unidos em uma nova dimensão chamado espaço-tempo.

Einstein trabalhava no departamento de patentes da Suíça, quando escreveu a Teoria (e outros 4 trabalhos cada um revolucionário ao seu jeito). Buscava um emprego de professor, mas já fora recusado por diversas universidades. Na última (Zurique), concorreu com um amigo Friedrich Adler. A Universidade escolheu este, mas ele com grandeza afirmou *Se a universidade pode escolher Einstein, é um absurdo escolher a mim*. Einstein virou professor.

Fórmulas da relatividade

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

que é lido assim: o tempo *t* corresponde ao tempo medido pelo observador parado. *T* é o tempo medido dentro do objeto em movimento, *v* é a velocidade do objeto (medida em unidades da velocidade da luz *c*) e *c* é a velocidade da luz. Assim, por exemplo, se você estiver dentro de um foguete que se move à velocidade de 0,7*c*, 1 segundo para você será percebido como:

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,7c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,49}} = \frac{1}{\sqrt{0,51}} = \frac{1}{0,7141428} = 1.4002801 \text{ segundos}$$

pelo observador que está parado.

$$l = L \times \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

O comprimento *l* corresponde ao comprimento conforme é visto pelo observador externo. *L* é o comprimento observado dentro do objeto em movimento. *v* e *c* valem o mesmo que acima. Seja o exemplo: Um observador externo parado enxerga um vagão de trem com 20m. Se o vagão se move a 0,7*c*, qual o comprimento que um eventual passageiro dentro do vagão observará?

$$l = L \times \sqrt{1 - \frac{(0,7c)^2}{c^2}}$$
$$20 = L \times \sqrt{1 - \frac{0,49c^2}{c^2}}$$
$$20 = L \times \sqrt{1 - 0,49}$$
$$20 = L \times \sqrt{0,51}$$
$$20 = L \times 0,7141428$$

ou *L* = 28.005603*m* é a distância que o observador dentro do vagão mede.

Depois Esta história é só a metade da história. Depois que Einstein foi festejado pela Teoria da Relatividade, ele começou a pensar em incluir o movimento acelerado nela. Em outras palavras, ele queria incluir a gravidade. Dizem que o insight veio quando ele pensou. *Se eu estiver em um elevador e alguém cortar a corda, eu vou deixar de sentir a gravidade*. Para encurtar a história ele conseguiu generalizar a Teoria para incluir a Gravidade, surgindo então a Teoria Geral da Relatividade. Com isso o nome da teoria anterior passou a ser Teoria Restrita da Relatividade. As fórmulas agora são mais assustadoras (por exemplo, a atração gravitacional dada por Newton é $-\frac{GM}{R^2}$ enquanto a mesma atração dada por Einstein é $\Delta r^2 = (1 - \frac{2GM}{C^2 R}) \Delta t^2 - \frac{1}{c^2} (\frac{\Delta r^2}{1 - \frac{2GM}{C^2 R}} + R^2 \Delta \theta^2 + R^2 \sin^2 \theta \Delta \phi^2)$). É mole, ou quer mais? Para resumir, as conclusões da Teoria Geral da Relatividade:

- a gravidade retarda o tempo
- a matéria curva o espaço
- luz e matéria acompanham a forma do espaço-tempo

Einstein fugiu dos nazistas para os Estados Unidos, e ai viveu feliz com sua mulher Elza, a secretária Helen Dukas, o cachorro Chico e o gato Tiger. Morreu em 1955.

Para você fazer

1. Uma maneira fácil de entender um fenômeno físico é construir um gráfico correlacionando duas grandezas. Construa um gráfico assim, colocando no eixo vertical as quantidades 1*m*, 2*m*, ..., até o valor que for necessário (onde 2*m* é duas vezes a massa original) e no eixo horizontal a velocidade como uma fração da velocidade da luz *c*, conforme descrito no exercício. Use a fórmula

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

O valor inicial do eixo horizontal é .85 e ele deve ter até 10 incrementos de .07

2. Suponha um vagão enorme que quando parado tem 100m de comprimento. Supondo que este vagão se atrele a um trem rapidíssimo e que se move a .86 *c*, pergunta-se quanto o vagão esticou. (i.e. ficou maior)

3. Imagine agora que um casal terrestre em que ambos nasceram no mesmo dia, ambos têm 30 anos, e têm um filho recém nascido. O casal deixa o filho aqui e vai para a estrela mais próxima do Sol, Alfa Centauri, a 4,3al de distância com a velocidade de .988 *c*. Chegando lá, eles imediatamente voltam. Quando chegarem eles estarão com que idade? e seu filho?

4. Suponha a estrela Alegria da Aurora que está a 68 anos luz da Terra. Qual a distância dela até aqui em quilômetros?

5. A estrela Tristeza do Entardecer está a 80000000000 quilômetros da Terra. Quanto tempo demora a luz para chegar aqui?

6. Suponha agora que a velocidade da luz seja apenas 300 Km/h, mantido todo o resto inalterado. Se você fosse de Curitiba a São Paulo em um jato com a velocidade de 281 km/h, chegaria lá em quanto tempo? E fora do jato, quanto tempo teria passado?

1. desenhe o gráfico no verso
2. vagão:
3. idades: casal e filho E <i>em anos</i>
4. distância em km <i>em milhares de km</i>
5. tempo da luz chegar <i>em horas</i>
6. tempo no jato e fora dele E <i>em horas</i>