

Material Didático

Noções de Relatividade



”A relatividade nos ensina que a percepção molda a realidade

Alisson Ferreira Martins

Físico

2024

”Este material foi desenvolvido para o estudo de Relatividade, um componente essencial da Física. As referências são todas do livro Helou et al., 2010: Helou, D., Gualter, J. B., and Newton, V. B. (2010). Tópicos de Física, volume 3. Editora Saraiva, São Paulo, 1ª edição, sendo, portanto, o material desenvolvido com o objetivo de simplificar o conteúdo.

Sumário

1	Introdução	2
2	O surgimento da Teoria da Relatividade	2
3	Os postulados de Einstein	2
4	A dilatação do tempo	3
5	A contração do comprimento	5

1 Introdução

A velocidade é uma grandeza relativa, pois depende do referencial em relação ao qual é determinada. Consequentemente são relativas outras grandezas que dependem da velocidade, como a energia cinética e a quantidade de movimento.

As grandezas **comprimento, tempo e massa** sempre foram tratadas como absolutas, são independentes do referencial em que são medidas. Comprimento, massa e tempo, grandezas consideradas absolutas na Mecânica clássica, também são grandezas relativas. A relatividade dessas grandezas só fica evidenciada quando estudamos situações em que as velocidades são muito altas, isto é, não desprezíveis em comparação com a velocidade da luz no vácuo, que é de 300.000 km/s, aproximadamente. Movimentos que aparentam serem significantes, acabam sendo insignificantes em comparação com a velocidade da luz, como por exemplo o avião supersônico.

2 O surgimento da Teoria da Relatividade

Temos na relatividade duas componentes a Teoria da Relatividade Restrita (ou Especial), publicada por Einstein em 1905. Na Relatividade Especial os fenômenos físicos são todos feitos sob uma análise de um referencial inercial.

A Teoria da Relatividade Geral publicada em 1915, aborda fenômenos do ponto de vista de referenciais **não inerciais**.

Nota

A Teoria da Relatividade não destruiu a Mecânica Newtoniana, que continua válida para velocidades muito pequenas em comparação com a velocidade da luz no vácuo.

3 Os postulados de Einstein

Einstein fez a construção da Teoria da Relatividade Restrita partindo de postulados:

Nota

Um postulado é uma afirmação parecida com um axioma, onde se tem uma verdade que não precisa ser demonstrada resultando portanto em consequências, postular é supor consequências.

1. As leis da Física são as mesmas, expressas por equações que têm a mesma forma, em qualquer referencial inercial. Não existe um referencial inercial privilegiado.
2. A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor $c \approx 300.000$ km/s em relação a qualquer referencial inercial.

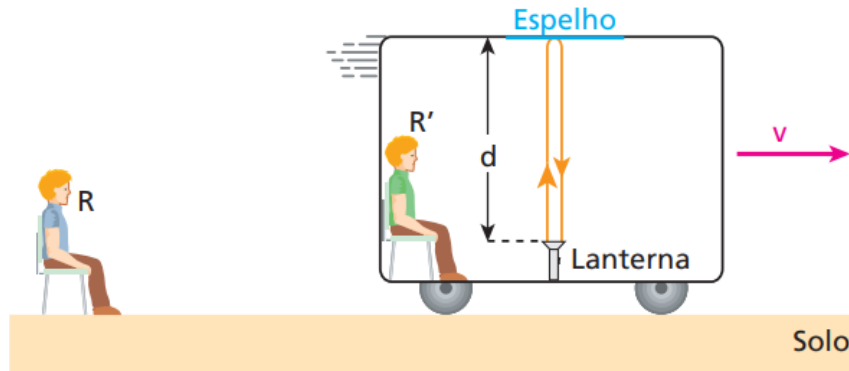
O segundo postulado contraria radicalmente a maneira newtoniana de compor velocidades.

4 A dilatação do tempo

O intervalo de tempo decorrido entre dois eventos, ou seja, entre dois acontecimentos, depende do referencial que observa esses eventos.

Situação problema

Imaginemos um vagão em movimento retilíneo e uniforme, com velocidade v em relação ao solo. Um espelho plano está colado no teto do vagão e uma lanterna está colada em seu piso, a uma distância d do espelho.



A lanterna emite do piso um pulso de luz que vai até o espelho no teto e retorna à lanterna. Temos dois eventos entre a emissão e a volta desse feixe de luz.

- **R'** : referencial em repouso em relação ao local onde ocorreram os eventos. O intervalo de tempo nesse referencial será representado por $\Delta t'$.
- **R** : referencial em movimento em relação ao local onde ocorreram os eventos. O intervalo de tempo entre os eventos será representado por Δt .

R' é um referencial no vagão e R é um referencial no solo. Do ponto de vista do referencial R' , a luz faz o trajeto indicado naquela figura, propagando-se com velocidade c e percorrendo a distância $2d$ durante o intervalo de tempo $\Delta t'$.

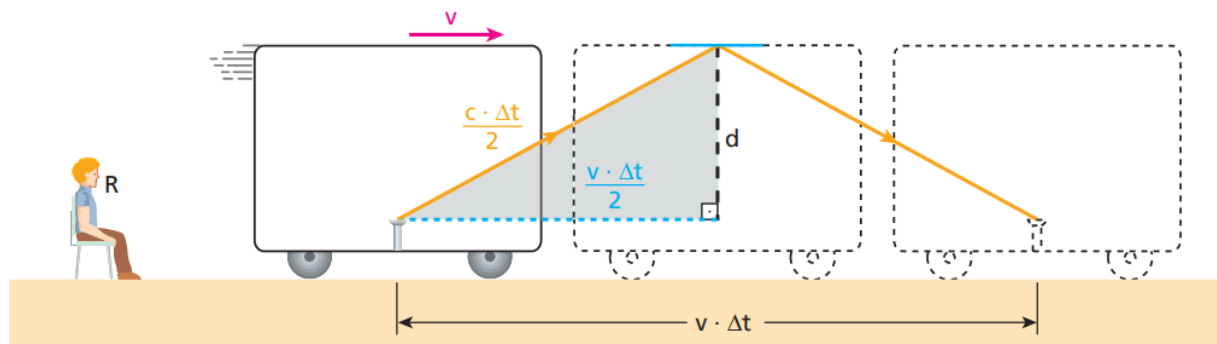


Figura 1: Trajeto da luz, entre os dois eventos, relação ao referencial R , estacionário no solo (mas em movimento em relação ao local dos eventos).

Do ponto de vista de R , nesse trajeto, a luz, também com velocidade c (não depende do referencial), percorreu durante um intervalo de tempo Δt uma certa distância.

Demonstração

Do ponto de vista do referencial R' a luz percorre um trajeto batendo no teto e refletindo, sendo portanto descrito por $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ reescrevendo obtemos:

$$c = \frac{2d}{\Delta t'} \rightarrow \Delta t' = \frac{2d}{c}$$

Do ponto de vista de R, nesse trajeto, a luz, também com velocidade c (não depende do referencial), percorreu durante um intervalo de tempo Δt uma certa distância:

$$v_{luz} \cdot \Delta t = c \cdot \Delta t$$

Ao dividirmos por 2 teremos o caminho na ida que é igual na volta denotado por:

$$\frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

R viu o vagão, com velocidade v , se deslocar $v \cdot \Delta t$

Aplicando o Teorema de Pitágoras, obtemos

$$\left(\frac{c \cdot \Delta t}{2}\right)^2 = d^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t}{2}\right)^2$$
$$\frac{c^2 + \Delta t^2}{4} = d^2 + \frac{v^2 \cdot \Delta t^2}{4}$$

Multiplicando por 4 dos dois lados obtemos

$$4 \left(\frac{c^2 \cdot \Delta t^2}{4}\right) = 4d^2 + 4 \left(\frac{v^2 \cdot \Delta t^2}{4}\right)$$

Cancelando 4 obtemos

$$c^2 \cdot \Delta t^2 = 4d^2 + v^2 \cdot \Delta t^2$$

Passando $v^2 \cdot \Delta t^2$ pro lado esquerdo ficamos com

$$c^2 \cdot \Delta t^2 - v^2 \cdot \Delta t^2 = 4d^2$$

Colocando os fatores em comum em evidência Δt^2 reescrevemos da seguinte forma

$$\Delta t^2 (c^2 - v^2) = 4d^2$$

Passando $(c^2 - v^2)$ dividindo obtemos

$$\Delta t^2 = \frac{4d^2}{c^2 - v^2}$$

Extraindo a raiz quadrada teremos

$$\Delta t = \frac{\sqrt{4d^2}}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \sqrt{\frac{4d^2}{c^2 - v^2}}$$

Extraindo a raiz apenas do numerador

$$\Delta t = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

Multiplicando v^2 por c^2 chegamos em

$$\Delta t = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2} \cdot \frac{c^2}{c^2}}$$

Colocando em evidência chegamos em

$$\Delta t = \frac{2d}{\sqrt{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

Extraindo a raiz de c^2 obtemos

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

Como vimos anteriormente $\frac{2d}{c} = \Delta t'$, chegamos então na expressão

$$\boxed{\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}$$

A expressão $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ é menor que 1, concluímos que Δt é maior que $\Delta t'$. Como a velocidade da luz é a mesma para os dois referenciais, o intervalo de tempo entre os dois eventos tem de ser maior para o referencial R, pois a luz percorre uma distância maior.

5 A contração do comprimento

É constatado que o comprimento de um corpo depende do referencial em que é medido