

Universidade de São Paulo Instituto de Física

RELATIVIDADE - 4300374

AULA 04

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=101531>

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Pelletron – sala 220

rizzutto@if.usp.br

Monitor: Marcelo Marcelino de Carvalho

marcelo_marcelino@usp.br

2o. Semestre de 2022

Princípios da relatividade de Einstein

Todos os sistemas inerciais são equivalentes para a formulação de todas as leis da natureza

Consequências:

- Abolição do éter como sistema inercial privilegiado.
- Elevar um fato experimental verificado à condição de postulado básico da teoria

A luz propaga-se, no vácuo de modo retilíneo e com a mesma velocidade c ($\sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

- em todos os tempos,
 - em todas as direções e
 - em todos os sistemas inerciais
- a despeito do estado de movimento da fonte de luz

Como construir um sistema de referência

É sempre possível escrever as leis da natureza sem fazer menção a qualquer sistema de referência.

Assim,

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

não traz qualquer indicação do sistema de referência em que medimos a força, a massa ou a aceleração.

Todavia, é importante poder aplicar uma lei da natureza a alguma situação específica e, nesse caso, a construção de um sistema de referência é valiosa.

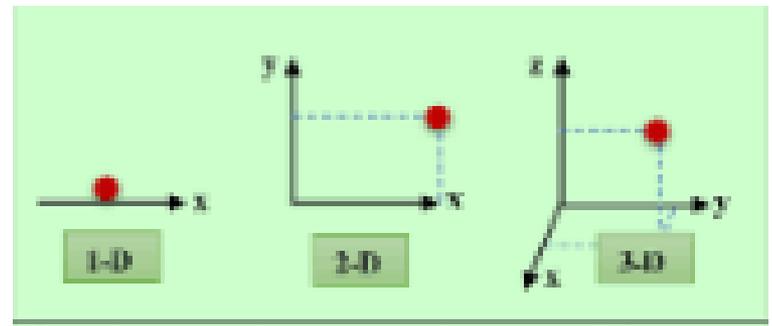
A relatividade de Einstein ensina a ser bastante cuidadoso nesse processo

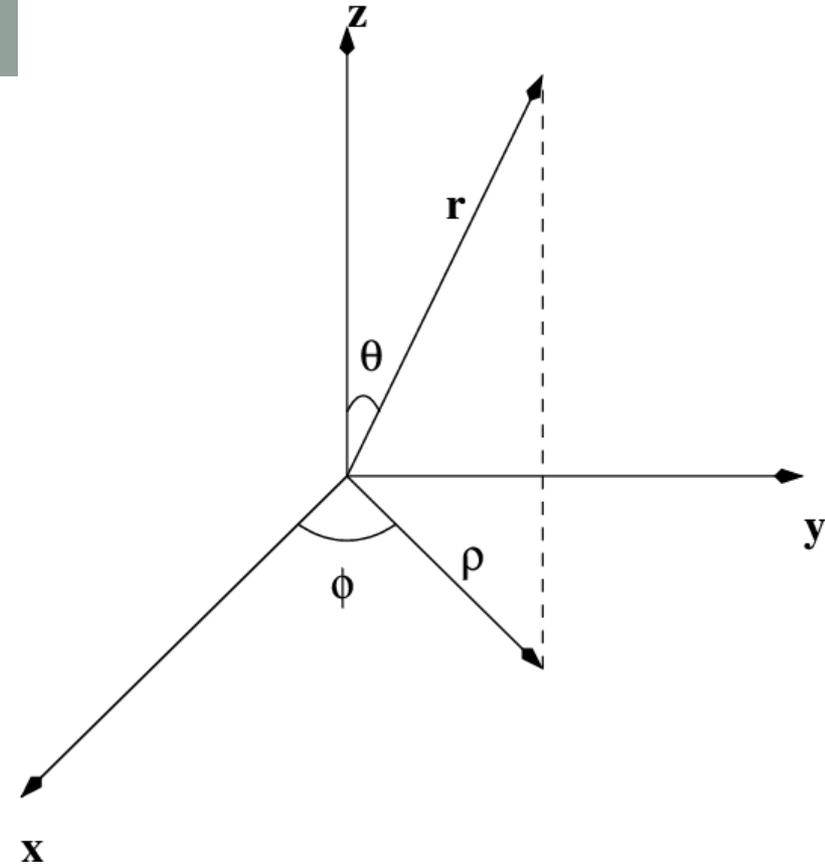
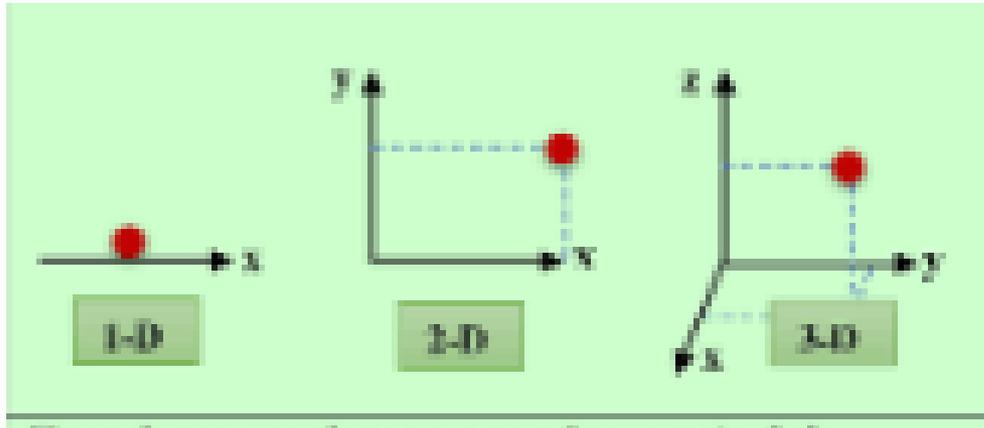
Uma das formas de construir um sistema de referencia e reunir um grupo de pessoas, os observadores, que estejam em repouso entre si.

Cada uma dessas pessoas e responsável por registrar as coordenadas, espaciais e temporais (espaço temporais, pois veremos que espaço e tempo estão bem mais unidos agora do que estavam na relatividade de Galileu), de qualquer evento que aconteça em sua vizinhança.

Para tal, e preciso que cada um dos observadores saiba sua posição em relação a uma origem arbitrariamente escolhida e tenha um relógio que esteja sincronizado com os relógios de seus colegas.

O primeiro passo e escolher a origem O do sistema. Em seguida, escolhem-se três direções mutuamente ortogonais para representar os eixos cartesianos Ox , Oy e Oz .

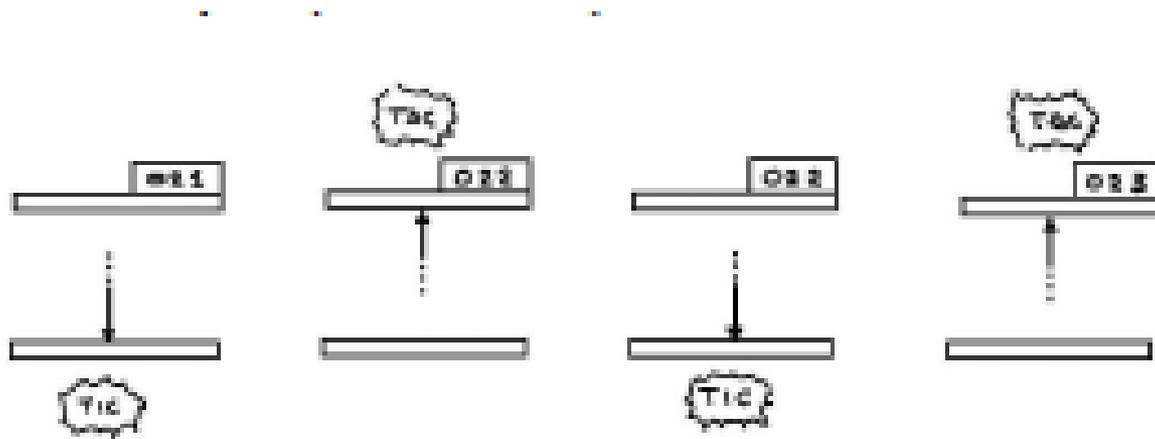




Podemos determinar os valores dos ângulos polar θ e azimutal ϕ que caracterizam a linha que o liga a origem.

Para determinar sua distância à origem cada observador deve enviar um pulso de luz em direção a um espelho na origem e medir o intervalo de tempo Δt necessário para que a luz retorne.

O tempo é contado a partir de um equipamento (relógio) que por sua vez funciona a partir de um fenômeno cíclico



MJMS, Figura 18.3

Cada vez que a luz vai e volta refletindo nos espelhos, conta-se uma unidade de tempo (TIC-TAC)

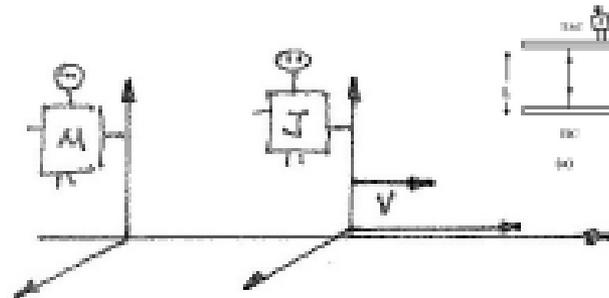
Dois observadores João e Maria, um se movendo com velocidade v em relação ao outro

O emissor de luz (luz emitida) esta com o João
Maria vê o João e o sinal luminoso passarem por ela

Pergunta:

Dados os princípios da relatividade qual será a relação entre a unidade de tempo desses dois referencias quando vistos:

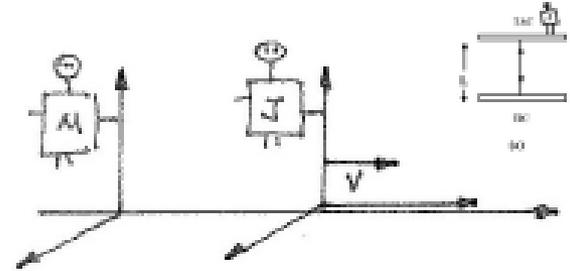
- a) Pela mecânica clássica
- b) Quando visto pela teoria da relatividade



MJMS, Figura 18.2

MJMS, Figura 18.4

a) Pela mecânica clássica



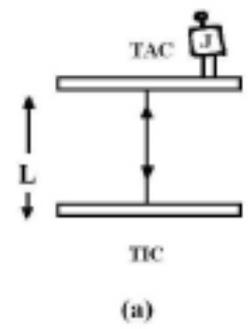
MJMS, Figura 18.2

No referencial do João, a unidade de tempo será:

$$\Delta T_J = \frac{2L}{c}$$

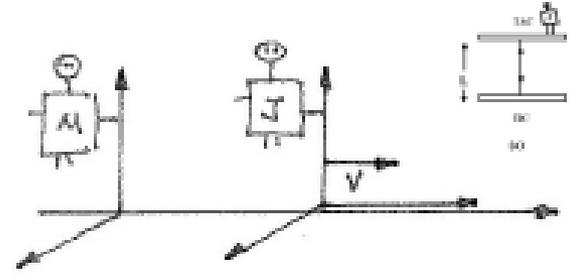
Como o relógio está em repouso no referencial do João, segundo a Teoria da Relatividade, temos o mesmo resultado:

$$\Delta t = \frac{2L}{c}$$



MJMS, Figura 18.4

a) Pela mecânica clássica



MJMS, Figura 18.2

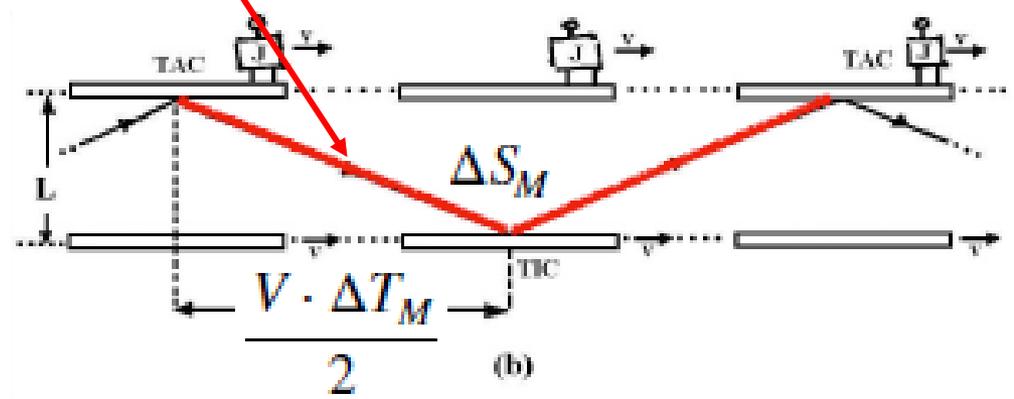
No referencial da Maria, a luz percorrerá uma distância maior que L dado por:

$$\Delta S_m = 2 \sqrt{L^2 + \left(\frac{V \cdot \Delta T_m}{2}\right)^2}$$

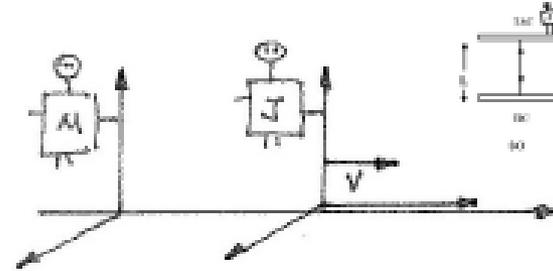
E a velocidade da luz será:

$$\vec{c}_m = \vec{c} + \vec{V}$$

$$c_m = \sqrt{c^2 + V^2}$$



MJMS, Figura 18.4



MJMS, Figura 18.2

a) Pela mecânica clássica

No referencial da Maria, a unidade de tempo será:

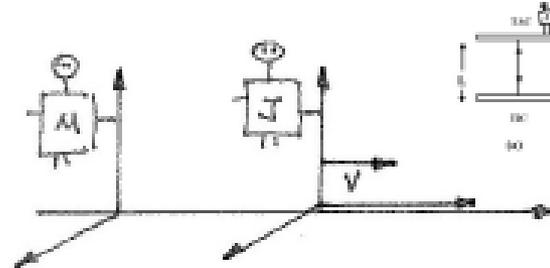
$$\Delta T_m = \frac{\Delta S_m}{c} = 2 \frac{\sqrt{L^2 + \left(\frac{V \cdot \Delta T_m}{2}\right)^2}}{\sqrt{c^2 + V^2}}$$

$$\Delta T_m^2 = 4 \frac{L^2 + \left(\frac{V \cdot \Delta T_m}{2}\right)^2}{c^2 + V^2}$$

$$\Delta T_m^2 \cdot (c^2 + V^2) = 4L^2 + V^2 \cdot \Delta T_m^2$$

$$\Delta T_m = \frac{2L}{c} = \Delta T_j$$

b) Pela Teoria da relatividade



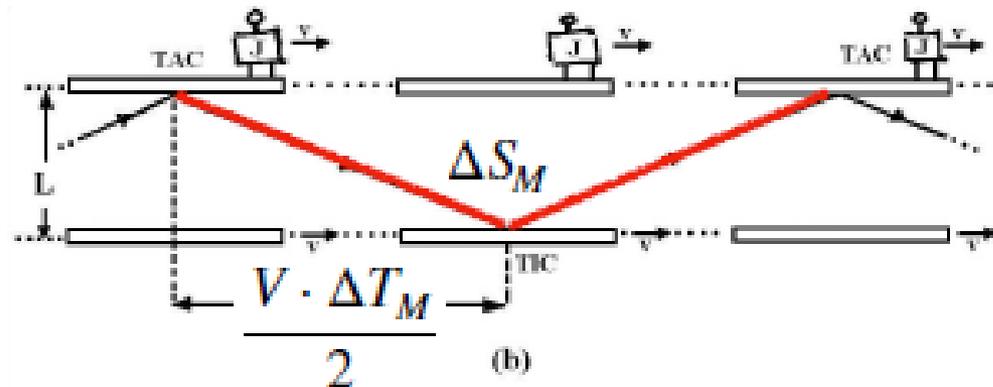
MJMS, Figura 18.2

No referencial da Maria, a luz percorrerá a mesma distância:

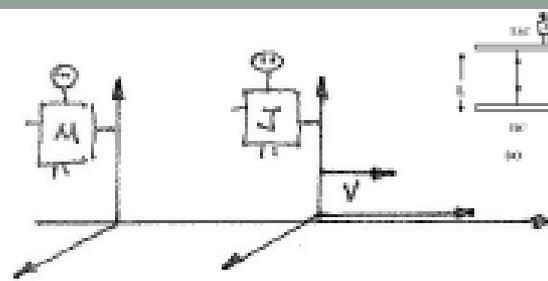
$$\Delta S_m = 2 \sqrt{L^2 + \left(\frac{V \cdot \Delta T_m}{2}\right)^2}$$

Porém a velocidade da luz será:

$$\vec{c}_m = \vec{c}$$



b) Pela Teoria da Relatividade



MJMS, Figura 18.4

MJMS, Figura 18.2

No referencial da Maria, a unidade de tempo será:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta S_m}{c_m} = 2 \frac{\sqrt{L^2 + \left(\frac{V \cdot \Delta t_m}{2}\right)^2}}{c}$$

$$\Delta t_m^2 = 4 \frac{L^2 + \left(\frac{V \cdot \Delta t_m}{2}\right)^2}{c^2}$$

$$\Delta t_m^2 \cdot c^2 = 4L^2 + V^2 \cdot \Delta t_m^2$$

$$\Delta t_m^2 (c^2 - V^2) = 4L^2$$

$$\Delta t_m = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - V^2}} = \frac{2L}{c \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

O resultado dos cálculos mostram que a unidade de tempo

Mecânica clássica

$$\Delta T_m = \frac{2L}{c} = \Delta T_j$$

Por outro lado na Teoria da relatividade

$$\Delta t_m = \frac{2L}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$
$$\Delta t_m = \gamma \Delta T_j$$

$$\text{Com } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

O tempo na Teoria da relatividade

- Note que o tempo realmente transcorre mais lentamente no referencial de João visto por Maria
- Se a velocidade relativa entre os dois for tem-se

$$\Delta t_m = 2\Delta T_j$$

$$V = \frac{c\sqrt{3}}{2}$$

portanto Maria ouviria o TIC-TAC de um relógio em repouso em relação a ela bater duas vezes mais rápido do que o relógio do João

TIC	TAC	TIC	TAC	TIC	TAC	TIC	→ Maria
TIC		TAC		TIC		TAC	→ João

Então nesta aula, discutimos o efeito da Teoria da Relatividade sobre o tempo.

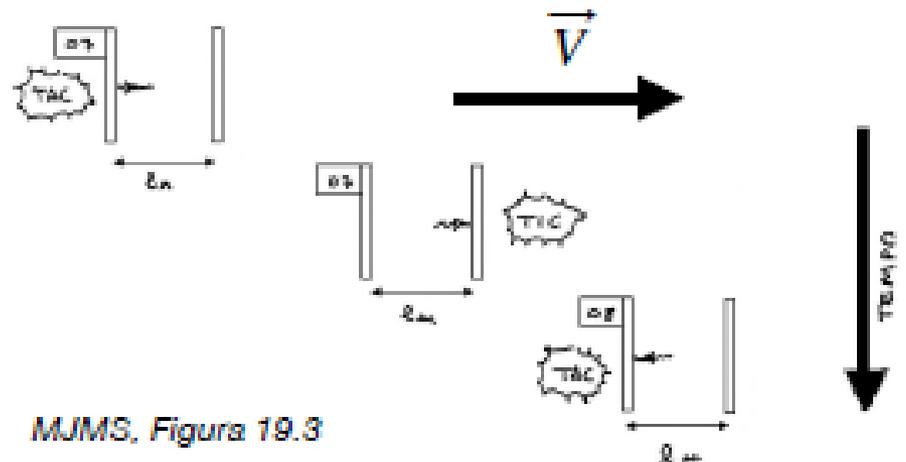
Será que a Teoria da Relatividade também afeta o espaço?

- Vamos estudar isso a partir de um exemplo parecido com este usado nesta aula

O espaço na Teoria da Relatividade

Novamente vamos supor um relógio que funciona a partir da reflexão contínua da luz entre dois espelhos

- Cada vez que a luz vai e volta refletindo nos espelhos, conta-se uma unidade de tempo (TIC-TAC)



MJMS, Figura 19.3