Universidade de São Paulo
Instituto de Física

RELATIVIDADE - 4300374

AULA 05

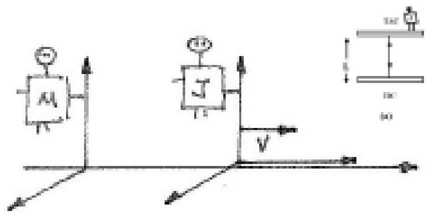
https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=101531

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto
Pelletron – sala 220
rizzutto@if.usp.br

2o. Semestre de 2022

O TEMPO na Teoria da Relatividade

Na aula passada vimos que os cálculos para a unidade de tempo



MJMS, Figura 18.4

MJMS, Figura 18.2

Mecânica clássica

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

Por outro lado na Teoria da relatividade

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

$$\Delta t_m = \gamma \Delta T_j$$

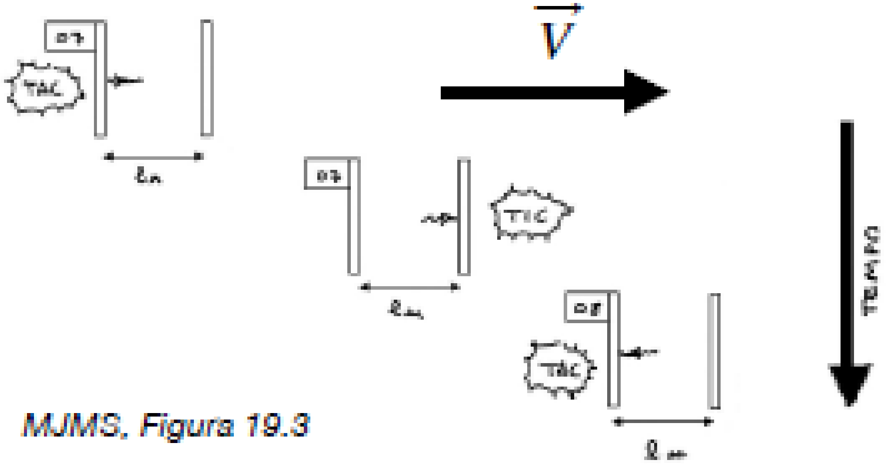
$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{(1 - \frac{V^2}{c^2})}}$$

- Note que o tempo realmente transcorre mais lentamente no referencial de João visto por Maria

O espaço na Teoria da Relatividade

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

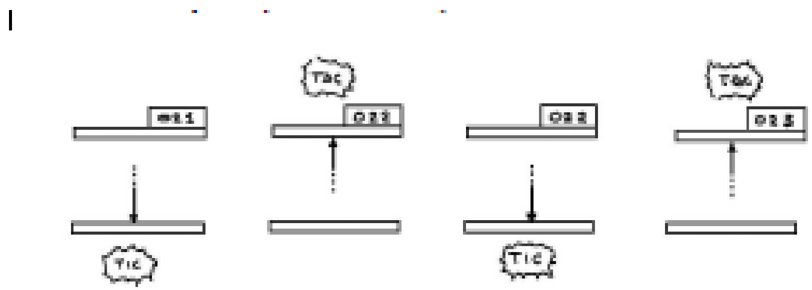
- Cada vez que a luz vai e volta refletindo nos espelhos, conta-se uma unidade de tempo (TIC-TAC)



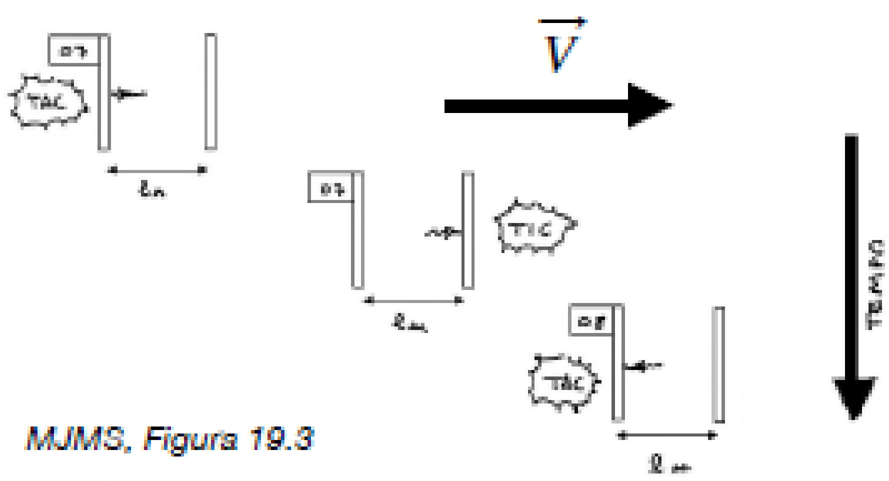
MJMS, Figura 19.3

O espaço na Teoria da Relatividade

- A diferença entre a aula passada (tempo) é que os dois espelhos estão dispostos perpendicularmente a direção do movimento (embaixo)



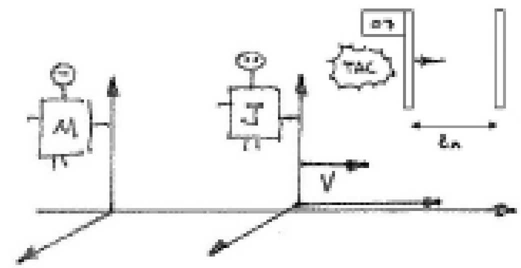
MJMS, Figura 18.3



MJMS, Figura 19.3

O espaço na Teoria da Relatividade

- Vamos considerar novamente que temos dois observadores João e Maria, um se movimento em relação ao outro com velocidade V.

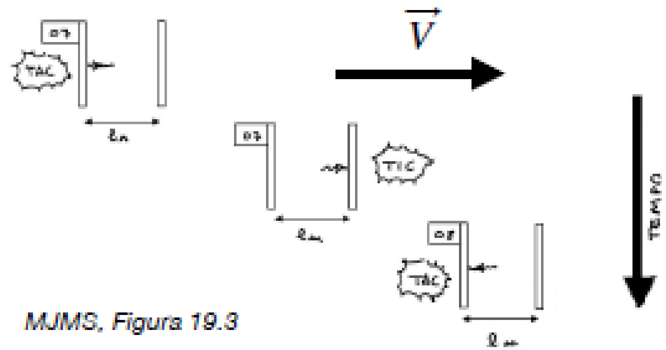


MJMS, Figura 18.2

- João tem o relógio de luz e Maria vê João e o relógio passarem por ela
- Novamente queremos saber qual será a rela~]ao entre a unidade de tempo nestes dois referências quando visto pela mecânica clássica e pela mecânica quântica

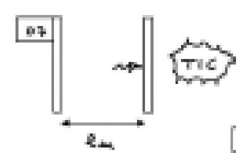
O espaço na Teoria da Relatividade e na Mecânica Clássica

- Vamos considerar mecânica clássica (letras maiúsculas) e Teoria da relatividade letras minúsculas

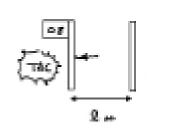


MJMS, Figura 19.3

- Temos o tempo que a luz leva para ir do espelho da esquerda para a direita (ΔT_{M1} e Δt_{M1})



- o tempo que a luz leva para ir do espelho da direita para a esquerda (ΔT_{M2} e Δt_{M2})



O espaço na Mecânica Clássica

- Vamos calcular o tempo da a luz ir para a direita, com a equação:

$$\Delta T_{M1} = \frac{\Delta S_1}{c_M}$$

Onde $\Delta S_1 = L + V.\,\Delta T_{M1}$ onde L é a distância entre os espelhos e é o mesmo em ambos os referenciais.

- Segundo a Mecânica clássica:
- $\boxed{C_M = C_J + V = c + V}$
- Então :

$$\Delta T_{M1} = \frac{\Delta S_1}{c_M} = \frac{L+V.\Delta T_{M1}}{c+V}$$ então $(c+V).\Delta T_{M1} = L + V.\Delta t_{M1}$

$c.\Delta T_{M1} = L$ Logo: $\boxed{\Delta T_{M1} = \frac{L}{c}}$ o que era esperado já que no referencial do João $\boxed{\Delta T_{J1} = \frac{L}{c}}$ isto implica que $\boxed{\Delta T_{M1} = \Delta T_{J1}}$

O espaço na Mecânica Clássica

- Vamos calcular o tempo para a luz voltar da esquerda:

$$\Delta T_{M2} = \frac{\Delta S_2}{c_M}$$

Onde $\Delta S_2 = L - V.\, \Delta T_{M2}$ e $C_M = C_J - V = c - V$

- Então :

$$\Delta T_{M2} = \frac{\Delta S_2}{c_M} = \frac{L - V.\Delta T_{M2}}{c - V}$$ então $(c-V).\Delta T_{M2} = L - V.\Delta t_{M2}$

$c.\Delta T_{M2} = L$ Logo: $\Delta T_{M2} = \dfrac{L}{c}$ o que era esperado já que

no referencial do João $\Delta T_{J2} = \dfrac{L}{c}$

isto implica que na $\boxed{\text{mecânica clássica } \Delta T_{M2} = \Delta T_{J2}}$

Então a unidade de tempo do relógio é: $\boxed{\Delta T = \Delta T_{M1} + \Delta T_{M2} = \dfrac{2L}{c}}$

que é o mesmo intervalo de tempo visto pelo João $\boxed{\Delta T_J = \dfrac{2L}{c}}$

O espaço na Mecânica Clássica

- Vamos calcular o tempo para a luz voltar da esquerda:

$$\Delta T_{M2} = \frac{\Delta S_2}{c_M}$$

Onde $\Delta S_2 = L - V.\,\Delta T_{M2}$ e $C_M = C_J - V = c - V$

- Então :

$$\Delta T_{M2} = \frac{\Delta S_2}{c_M} = \frac{L\text{-}V.\Delta T_{M2}}{c\text{-}V}$$ então $(c\text{-}V).\Delta T_{M2} = L - V.\Delta t_{M2}$

$c.\Delta T_{M2} = L$ Logo: $\Delta T_{M2} = \dfrac{L}{c}$ o que era esperado já que

no referencial do João $\Delta T_{J2} = \dfrac{L}{c}$

isto implica que na $\boxed{\text{mecânica clássica } \Delta T_{M2} = \Delta T_{J2}}$

Então a unidade de tempo do relógio é: $\boxed{\Delta T = \Delta T_{M1} + \Delta T_{M2} = \dfrac{2L}{c}}$

que é o mesmo intervalo de tempo visto pelo João $\boxed{\Delta T_J = \dfrac{2L}{c}}$

O espaço na Teoria da Relatividade

- A diferença que temos aqui é a condição que:

$$C_M = c$$

No caminho de ida da luz:

$$\Delta t_{M1} = \frac{\Delta s_1}{c} = \frac{l_M + V.\Delta t_{M1}}{c}$$

$$c.\Delta t_{M1} = l_M + V.\Delta t_{M1}$$

$$(c-V).\Delta t_{M1} = l_M$$

Logo: $\boxed{\Delta t_{M1} = \frac{l_M}{c-V}}$

No caminho de volta da luz :

$$\Delta t_{M2} = \frac{\Delta s_2}{c} = \frac{l_M - V.\Delta t_{M2}}{c}$$

$$c.\Delta t_{M2} = l_M - V.\Delta t_{M2}$$

$$(c+V).\Delta t_{M2} = l_M$$

Logo: $\boxed{\Delta t_{M2} = \frac{l_M}{c+V}}$

$\Delta T = \Delta T_{M1} + \Delta T_{M2} = \frac{2L}{c}$ que é o

O espaço na Teoria da Relatividade

- Vimos que:

No caminho de ida da luz: $\Delta t_{M1} = \dfrac{l_M}{c\text{-}V}$

No caminho de volta da luz : $\Delta t_{M2} = \dfrac{l_M}{c+V}$

Então: $\Delta t_M = \Delta t_{M1} + \Delta t_{M2}$

$$\Delta t_M = \frac{l_M}{c-V} + \frac{l_M}{c+V}$$

$$\Delta t_M = \frac{l_M.(c+V) + l_M.(c\text{-}V)}{(c-V).(c+V)}$$

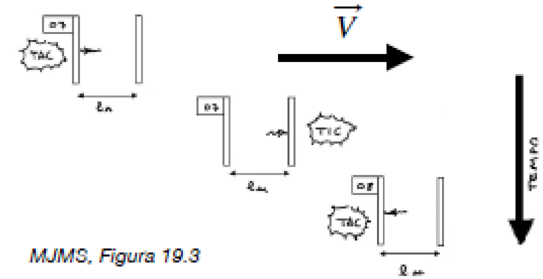
$$\Delta t_M = \frac{2.c.l_M}{c^2-V^2} = \frac{2.c.l_M}{c^2(1\text{-}\frac{V^2}{c^2})} = \boxed{\frac{2.l_M}{c(1-\frac{V^2}{c^2})}}$$

O espaço na Teoria da Relatividade

- Vimos que:

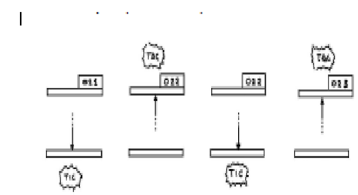
No caminho de ida e volta da luz aqui calculada no nosso sistema vertical:

$$\Delta t_M = \frac{2.l_M}{c(1-\frac{V^2}{c^2})}$$



MJMS, Figura 19.3

A diferença entre a aula passada (tempo) é que os anteriormente os dois espelhos estão dispostos na aa horizontal em relação à direção do movimento.



MJMS, Figura 18.3

e o tempo foi escrito como:

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

E como essa unidade de tempo não pode depender de orientação (horizontal ou vertical) temos que igualar estas equações

$$\frac{2.l_M}{c(1-\frac{V^2}{c^2})} = \frac{2.L}{c\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$

$$\boxed{l_M = \frac{L(1-\frac{V^2}{c^2})}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} = L.\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$

O espaço na Teoria da Relatividade

- Temos que :

$$l_M = L.\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$$

O fato da raiz ser menor que 1 para V ≠ 0 significa que a distância entre os dois espelhos vista por Maria, é menor do que a distância própria (L) vista por João.

Este resultado indica que a distância entre os espelhos se contraiu para o observador que vê o relógio em movimento.

Então o que temos:

- Um observador em repouso em relação a uma régua não pode perceber a sua contração,
- Mas alguém que observa á régua em movimento pode!!!!!!!!!

O espaço na Teoria da Relatividade

- Vimos que :

$$l_M = L.\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

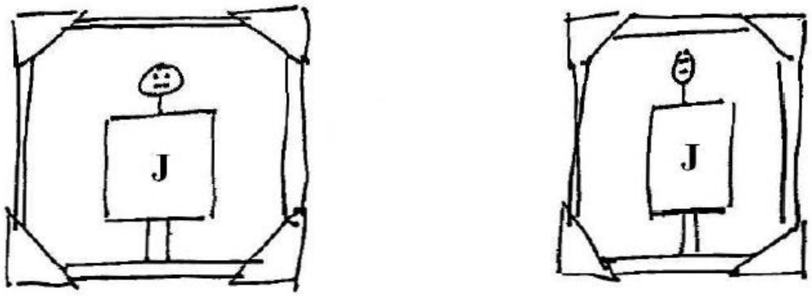
- Como exemplo para documenta a contração do espaço, poderíamos pensar em fotografias
- Tirar uma foto de um objeto que se move com velocidade muito alta não é trivial, ocorrem distorções devido ao tempo de propagação da luz até a câmara.
- Mas vamos supor que podemos minimizar estas distorções por meio de sistemas eletrônicos de reconstrução de imagem, e usando V=3c/5

Neste caso as duas fotos

a) do João tirada por ele mesmo

b) tirada por Maria

seriam:



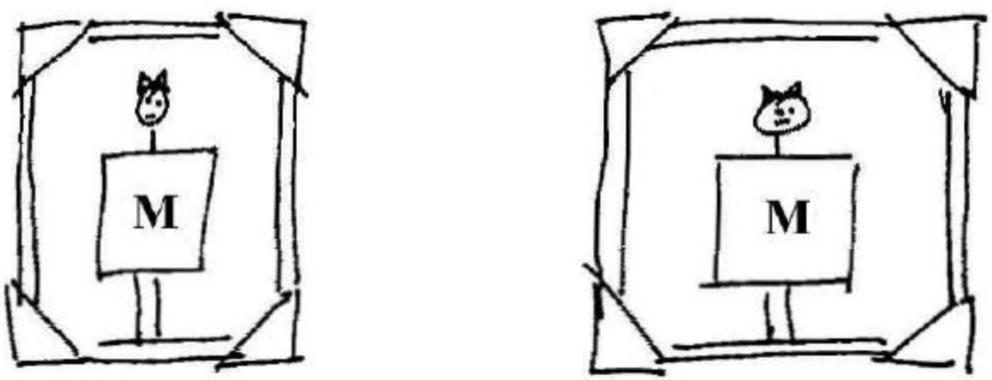
(a) MJMS, figura 19.4 (b)

O espaço na Teoria da Relatividade

- Vimos que :

$$\boxed{l_M = L.\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$

- Novamente se agora por outro lado, fosse João quem tirasse a foto de Maria (com as correeões devida) e com V=3c/5
- Ela apareceria contraída na direção do movimento. O efeito da contração do espaço também é simétrico. (a) foto tirada por João e (b) foto tirada por ela mesma



(a) (b)

MJMS, figura 19.5