

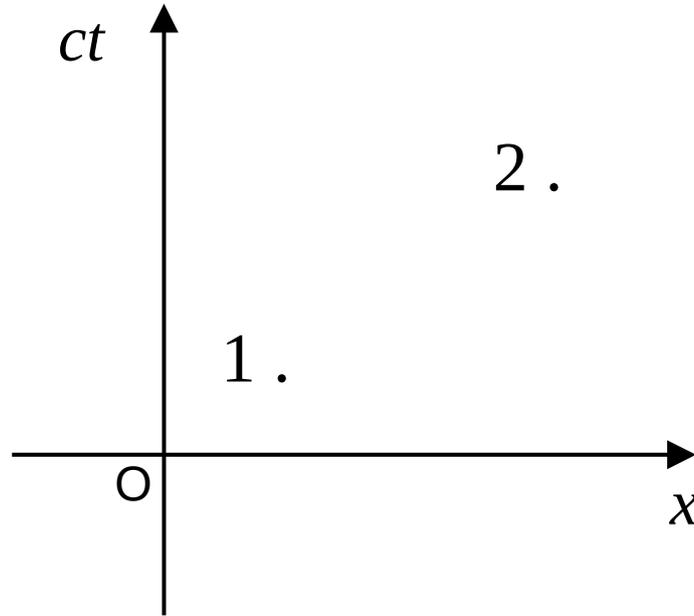
# Física IV (IF 2023)

## Aula 27

- Objetivos de aprendizagem
  - Definir “intervalo” do espaço-tempo
  - Reconhecer o quadrado do intervalo como um invariante relativístico
  - Classificar os diferentes tipos de intervalo do espaço-tempo
  - Reconhecer a relação entre o tipo de intervalo entre dois pontos do espaço-tempo e o princípio de causalidade

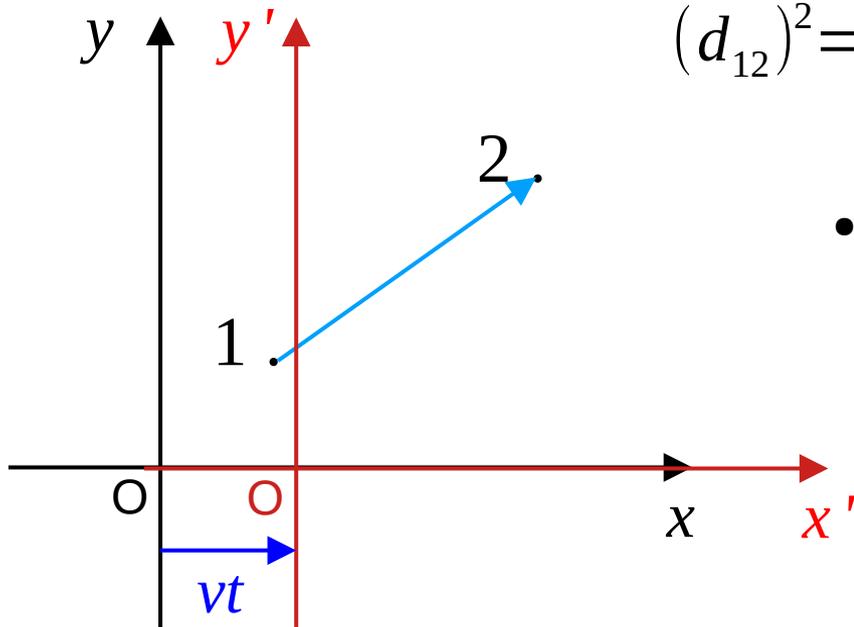
# Intervalo

- “Separação” espaço-temporal entre dois eventos



# TG

- Na transformação de Galileo a posição relativa ao quadrado entre dois pontos é invariante por mudança de referencial.



$$(d_{12})^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 = (d'_{12})^2$$

- As diferenças de tempo, também:

$$(\Delta t_{12})^2 = (\Delta t'_{12})^2$$

# Quadrado do intervalo

$$(s_{12})^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - (ct_2 - ct_1)^2$$

- Pela transformação de Lorentz (TL) o quadrado do intervalo é um invariante relativístico (não as distâncias, nem o intervalo de tempo).

$$s'^2_{12} = s^2_{12}$$

- Esta propriedade foi utilizada (aliás) para deduzir a TL (revisar aquela aula)

# Tipos de intervalo (ao quadrado)

(a)  $(s_{12})^2 < 0$

(b)  $(s_{12})^2 > 0$

(c)  $(s_{12})^2 = 0$

$$(a) \quad (s_{12})^2 < 0$$

- 1) Mostrar que os eventos podem estar ligados pela propagação de um “sinal de informação” que viaja com velocidade inferior à da luz (exemplos)
- 2) Mostrar que a ordem dos eventos não pode ser invertida por mudança de referencial, desde que  $v < c$
- 3) Considerar que, se  $v > c$ , a ordem dos eventos com relação de causa-efeito poderia ser invertida, o que seria absurdo
- 4) Mostrar que, por TL para um certo referencial, os dois eventos podem acontecer no mesmo ponto do espaço, portanto o intervalo seria correspondente ao tempo próprio. O intervalo é definido como do gênero ou tipo “tempo”.

$$(b) \quad (s_{12})^2 > 0$$

- 1) Mostrar que os eventos **NÃO** podem estar ligados pela propagação de um “sinal de informação” que viaja com velocidade inferior à da luz (exemplos)
- 2) Mostrar que a ordem dos eventos **pode** ser invertida por mudança de referencial, mesmo com  $v < c$ , e por isso **não pode** haver relação de causa-efeito entre os eventos
- 3) Mostrar que, por TL para um certo referencial, os dois eventos podem acontecer ao mesmo tempo. O intervalo é definido como do gênero ou tipo “espaço”.

$$(c) \quad (s_{12})^2 = 0$$

1) Nesse caso, os dois eventos podem ser ligados por um sinal luminoso. O intervalo é dito do tipo ou gênero “luz”.

# Tipos de intervalo (ao quadrado)

(a)  $(s_{12})^2 < 0$ : Tipo TEMPO

(b)  $(s_{12})^2 > 0$  Tipo ESPAÇO

(c)  $(s_{12})^2 = 0$  Tipo LUZ, ou *no cone de luz*