

2. Relatividad Especial

2.1. Velocidades relativas

- Es hora de hacer uso de los postulados de Einstein. En lugar de "medir" con una regla, utilizaremos una lámpara; **luz**.

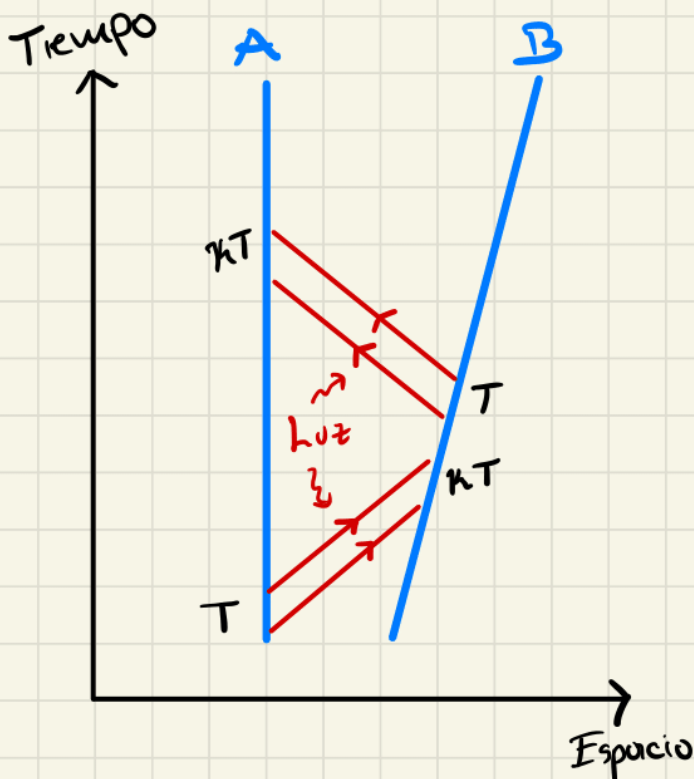
• ¿Por qué luz?

- La **velocidad de la luz** es independiente de muchas cosas (en el vacío):

* Movimiento de emisores, color, intensidad, etc.

- Consideremos entonces la siguiente configuración de observadores:

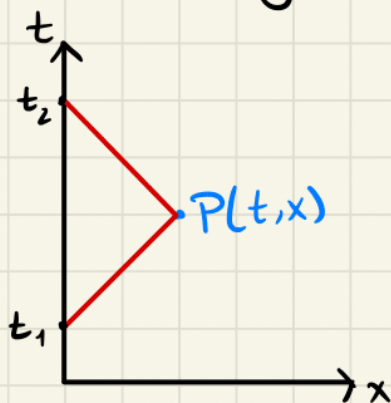
$c = 1$ *c: velocidad de la luz.*



- A está en reposo.
B en movimiento uniforme.
- A emite dos rayos de luz en un intervalo T .
- B recibe los haces de luz en un intervalo KT .
- B emite de vuelta la luz.

- **Principio de relatividad**: relación entre A y B debe ser recíproca. *Todos los observadores inerciales son equiv.*

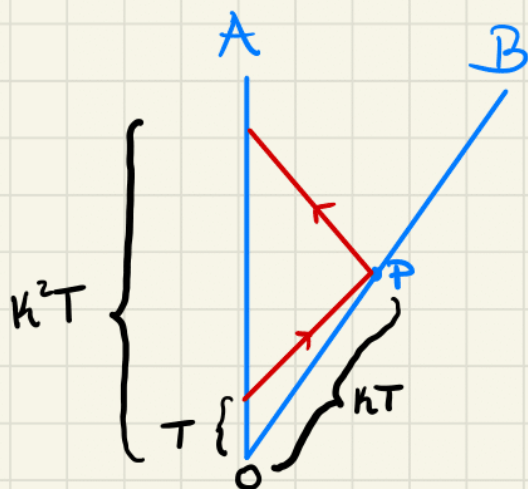
¿Cómo asignamos coordenadas a los eventos?



El observador emite un haz de luz y este "rebota" sobre P y regresa de nuevo al emisor.

$$\rightarrow (t, x) = \left(\frac{1}{2}(t_1 + t_2), \frac{1}{2}(t_2 - t_1) \right)$$

De esta manera podemos describir lo que sucede sobre B desde la perspectiva de A y viceversa.



A y B sincronizan sus relojes en O.

A emite luz y B se la regresa inmediatamente.

Tenemos que $t_1 = T$ y $t_2 = k^2 T$.

Las coordenadas de P según el reloj de A son:

$$(t, x) = \left(\frac{1}{2}(k^2 + 1)T, \frac{1}{2}(k^2 - 1)T \right)$$

De aquí, la velocidad relativa de B respecto a A es:

$$v = \frac{x}{t} = \frac{k^2 - 1}{k^2 + 1}$$

Resolviendo para k tenemos que

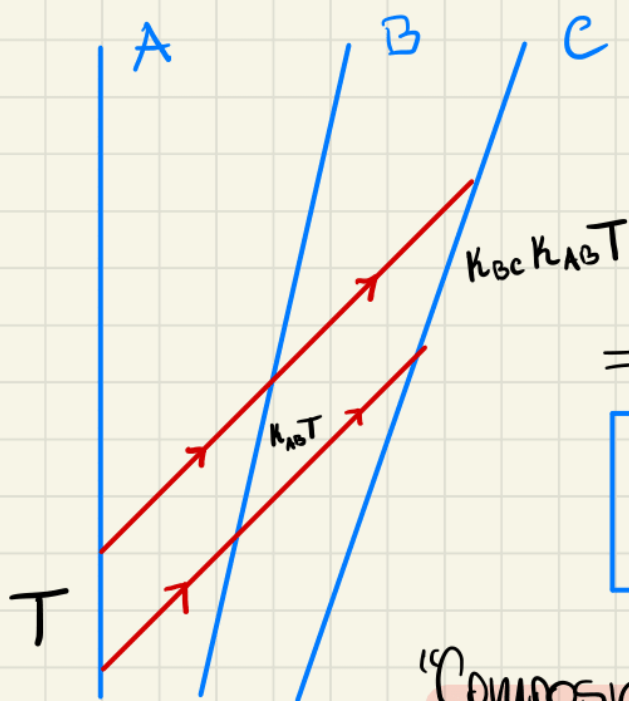
$$k = \left(\frac{1+v}{1-v} \right)^{1/2}$$

Efecto Doppler
relativista

- Si B se aleja de A entonces $k > 1$: red shift.
- Si B se acerca a A entonces $k < 1$: blue shift

Estudiar esto no es el objetivo del taller pero es un resultado importante.

- Consideremos ahora la siguiente configuración:



Tenemos que

$$k_{AC} = k_{AB}k_{BC}$$

$\Rightarrow$

$$V_{AC} = \frac{V_{AB} + V_{BC}}{1 + V_{AB}V_{BC}}$$

"Composición de velocidades relativista"

Noten que si V_{AB} y V_{BC} son pequeñas comparadas a la velocidad de la luz se obtiene el límite Newtoniano:

$$V_{AB} \ll 1, V_{BC} \ll 1 \Rightarrow V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$

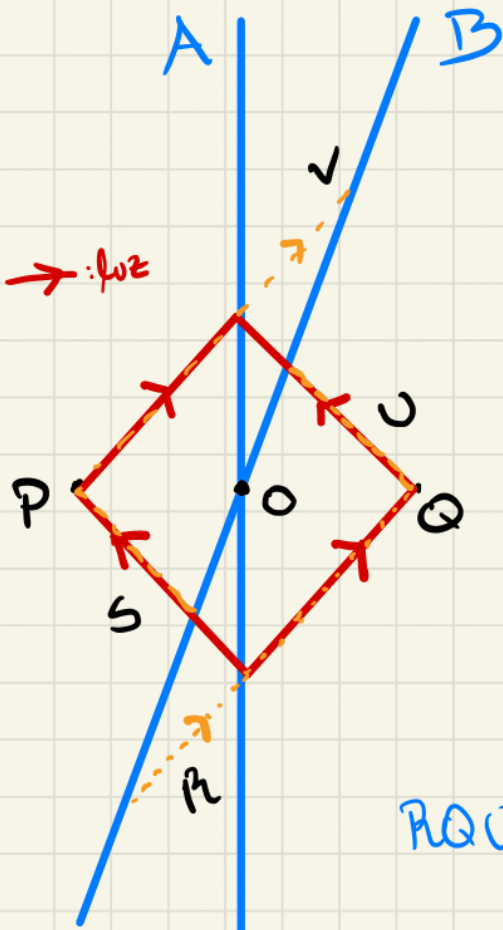
La parte interesante de este resultado es que si tomamos $V_{BC}=1$, tendremos que:

$$V_{AC} = \frac{V_{AB} + 1}{1 + V_{AB}} = 1,$$

que está de acuerdo con el segundo postulado de Einstein.

• Conclusión: si sumamos dos velocidades menores a la velocidad de la luz de nuevo obtendremos una menor a c .

2.2. Relatividad de lo simultáneo



• Eventos P y Q suceden al mismo tiempo según A.

• Para A tenemos que

P, O y Q son simultáneos y son equidistantes.

• Para B, con velocidad constante $v < c$, los eventos P y Q también son equidistantes, pero ¡Q sucede antes que P!

$RQO = SPV \Rightarrow$ equidistantes según B.

- Después de ver esto surge la siguiente pregunta:

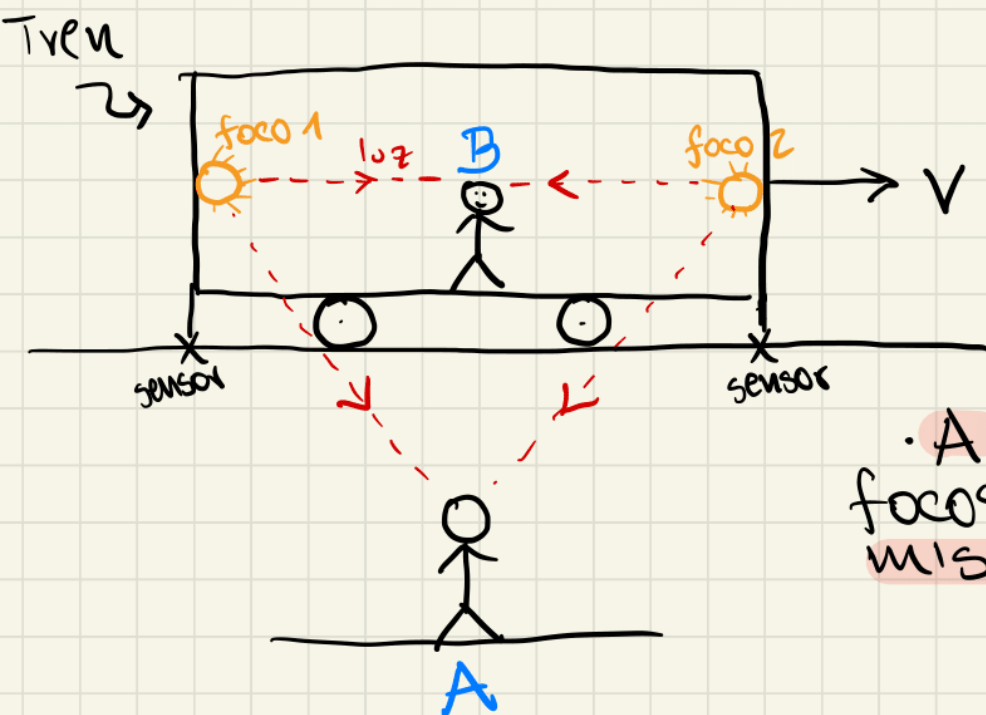
¿Quién está en lo correcto?

La respuesta es: ambos y ninguno; depende.

→ Eventos que son simultáneos para un observador no lo son para otro que esté en movimiento.

La relatividad de lo simultáneo es el núcleo de la relatividad especial.

Consideren el siguiente experimento pensado:

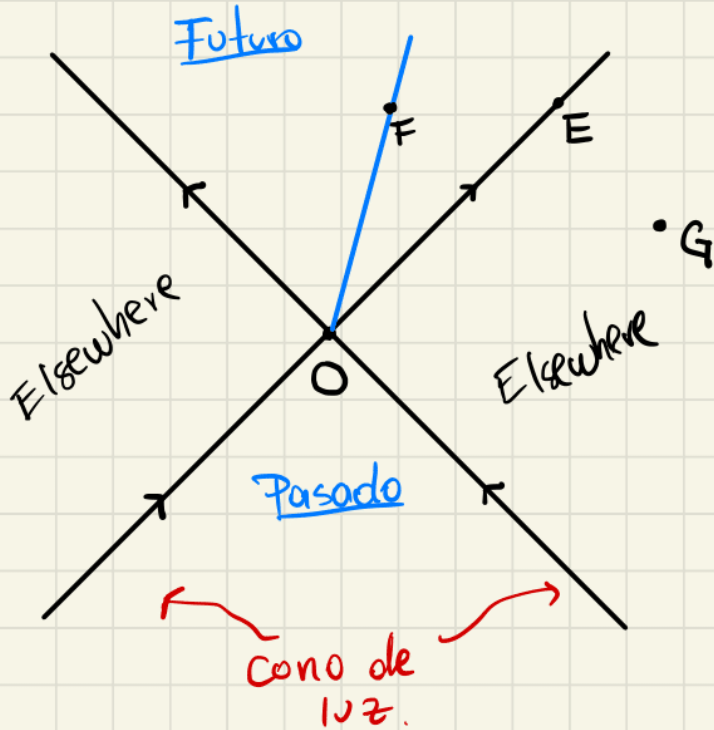


• El tren pasa sobre los sensores y enciende los focos.

• A concluirá que los focos se prenden al mismo tiempo.

- Por el contrario, B concluirá que el foco 2 se encendió primero que el foco 1; B se mueve en dirección del foco 2 y se aleja del foco 1.

Clasifiquemos los tipos de eventos en el espacio-tiempo:



- Considera O , un evento sobre la línea de mundo de A , y los rayos de luz entrando y saliendo de este.

- E está sobre el rayo de luz saliendo de O :

$\Rightarrow$ E ocurre después de O .

Esto es un ejemplo de causalidad, O causa E .

- De igual manera, todos los observadores inerciales concuerdan que F ocurre después de O .

- Los eventos dentro de esta región se le conoce como el futuro (absoluto) de O .

- Pero, no todos los observadores estarán de acuerdo en el orden de los eventos fuera del futuro o pasado de O :

$\rightarrow$ Unos dirán que G ocurrió antes que O , otros que O primero, que G y otros que fueron simultáneos!

- Los rayos de luz entrando y saliendo de O constituyen el cono de luz.