



La teoría de la relatividad

I. Relatividad especial
por José Bosch

Trabajos iniciales de A. Einstein

- La teoría de la relatividad especial (RE) se esbozó por vez primera en un artículo publicado por Einstein en *Annalen der Physik* 17, 891 (1905) titulado “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”

El nobel se le concedió a Einstein por el *efecto fotoeléctrico* y no por la relatividad.

Conocimientos previos

$$velocidad = \frac{espacio}{tiempo}$$

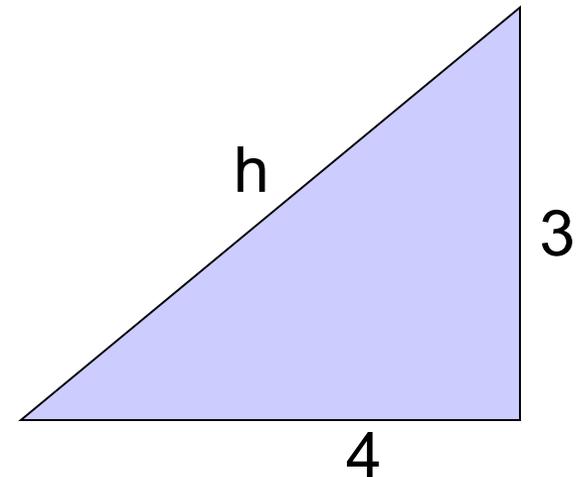
$$espacio = velocidad \times tiempo$$

$$tiempo = \frac{espacio}{velocidad}$$

Teorema de Pitágoras

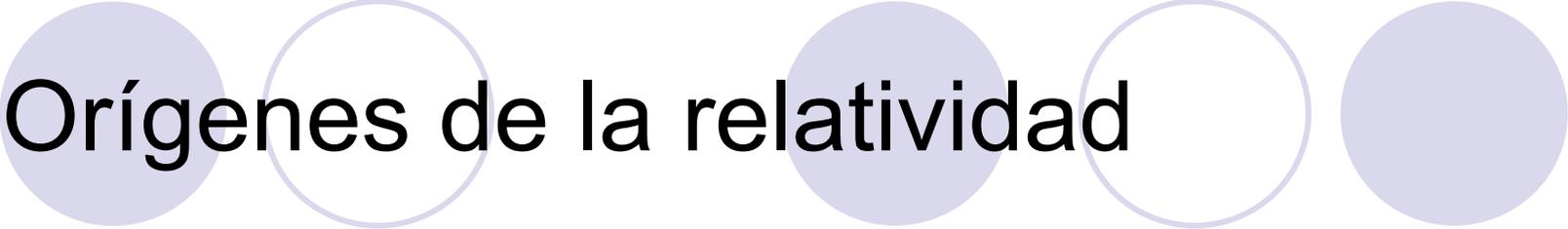
$$h^2 = 3^2 + 4^2 = 9 + 16 = 25$$

$$h = \sqrt{25} = 5$$



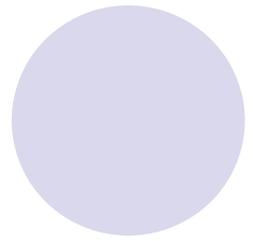
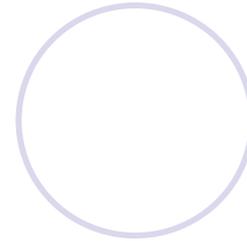
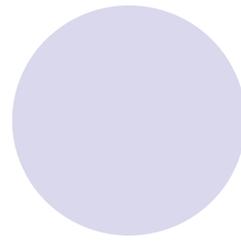
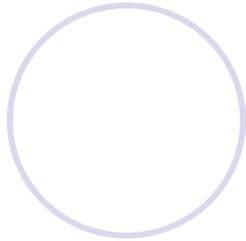
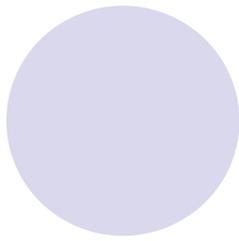
La teoría especial de la relatividad

- 1. Orígenes de la teoría de la relatividad.
- 2. Los postulados de la relatividad.
- 3. Las ondas luminosas.
- 4. La dilatación del tiempo.



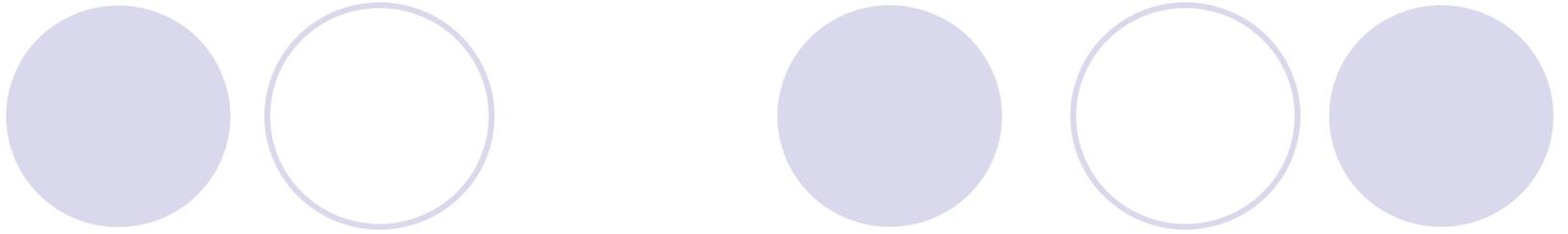
1. Orígenes de la relatividad

- La mecánica y el electromagnetismo eran las teorías físicas fundamentales a principios del siglo XX.
- Ambas teorías eran incompatibles en lo que a la concepción del *espacio* y el *tiempo* se refiere.
- La RE se enmarca dentro de la teoría electromagnética y sus consecuencias se extienden a la mecánica.



Estatua de James Clerk Maxwell en Edinburgh





Ecuaciones de Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

2. Los postulados de la relatividad

- I. Los resultados de todos los experimentos realizados en sistema de referencia inerciales (SRI) son iguales. (Relatividad de Galileo).

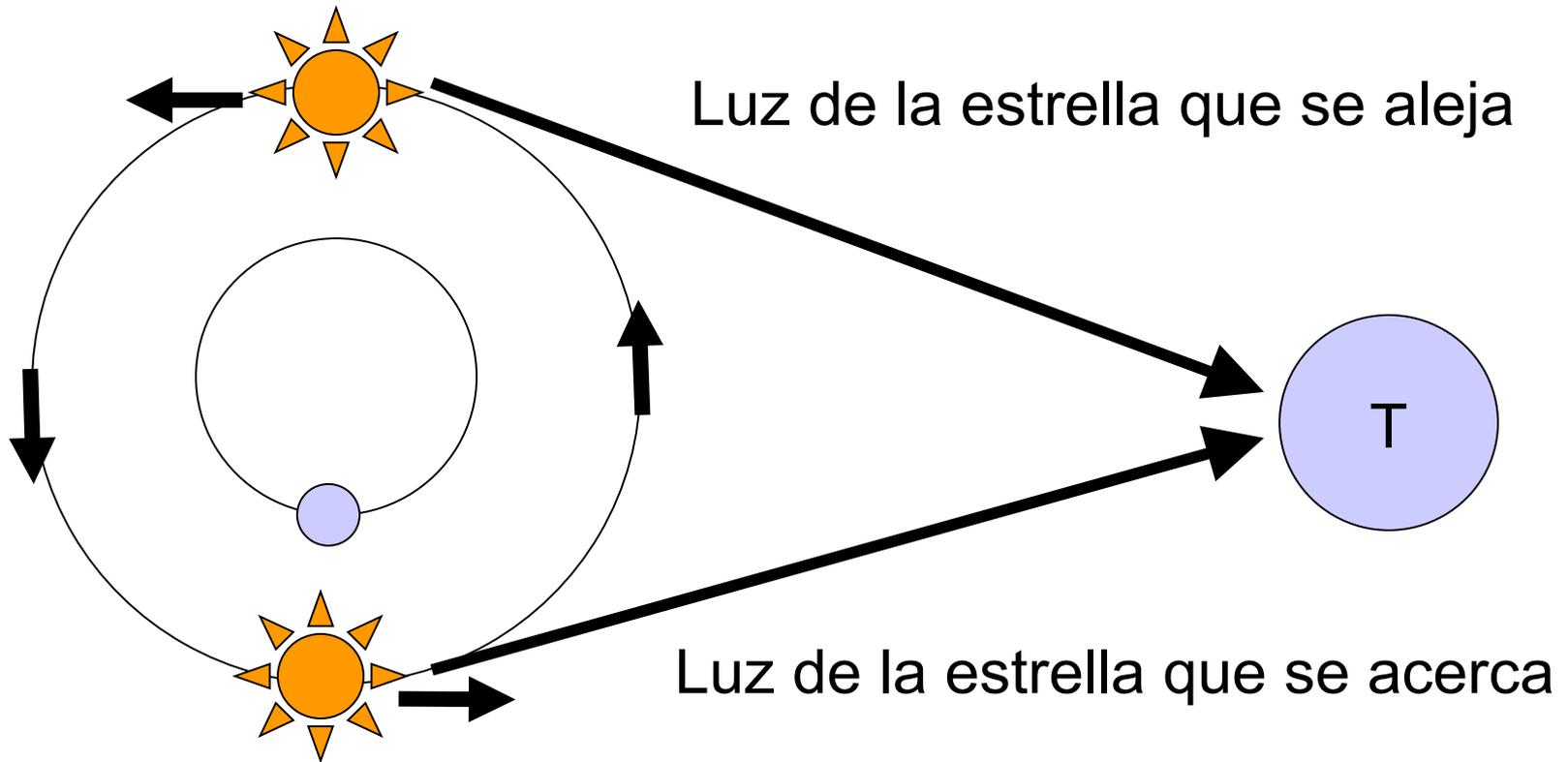
Esto significa que los sistemas sin aceleración y por tanto con un *movimiento rectilíneo uniforme* son equivalentes, no se puede decir cual está en reposo y cual en movimiento.

- II. La velocidad de la luz es independiente de la velocidad de la fuente luminosa. Fizeau realizó las primeras mediciones de la velocidad de la luz en 1815

$$c = 299793.15 \text{ km/s en el vacío}$$

Las experiencias realizadas hasta hoy sobre el corrimiento Doppler en estrellas dobles muestran que la velocidad de la luz no depende de si se aleja o acerca alguna de las componentes.

Se comprobó por vez primera con la binaria Castor C



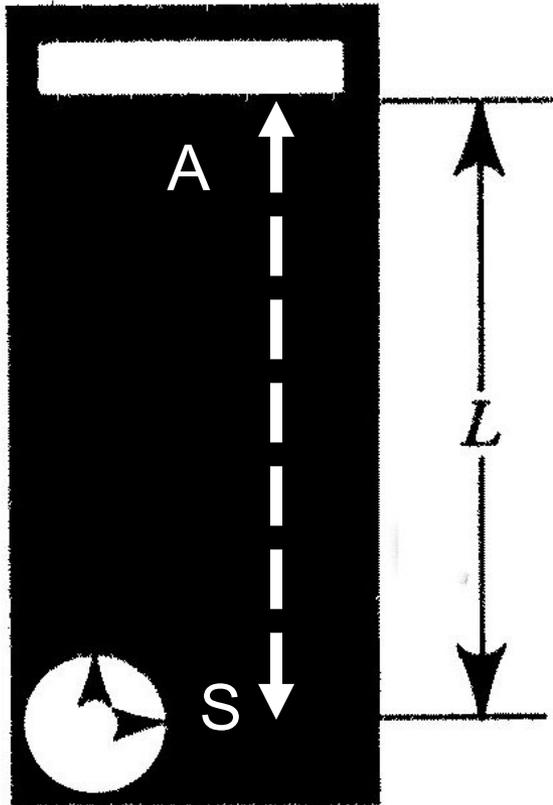
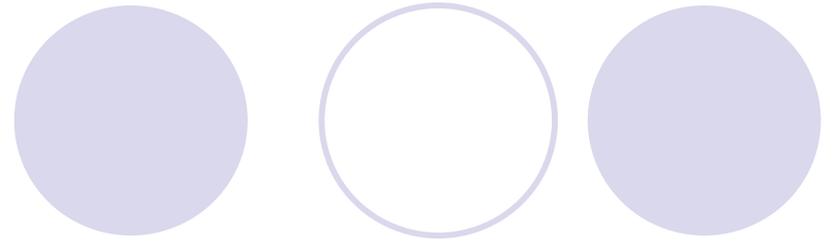
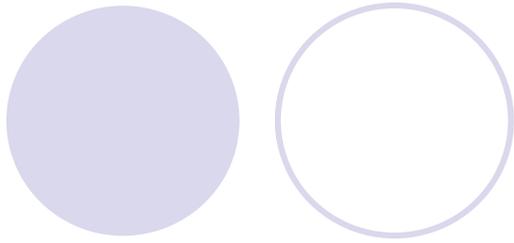
Los resultados de los espectros Doppler son compatibles si suponemos que la velocidad de la luz es idéntica en ambos casos.

3. Las ondas luminosas

- Maxwell en 1864 estableció la naturaleza electromagnética y ondulatoria de la luz.
- La velocidad de las ondas es una característica del medio en el que se propagan y no es una propiedad mecánica.
- La velocidad de la luz no se “suma” de la misma manera que se hace en cinemática.

4. La dilatación del tiempo

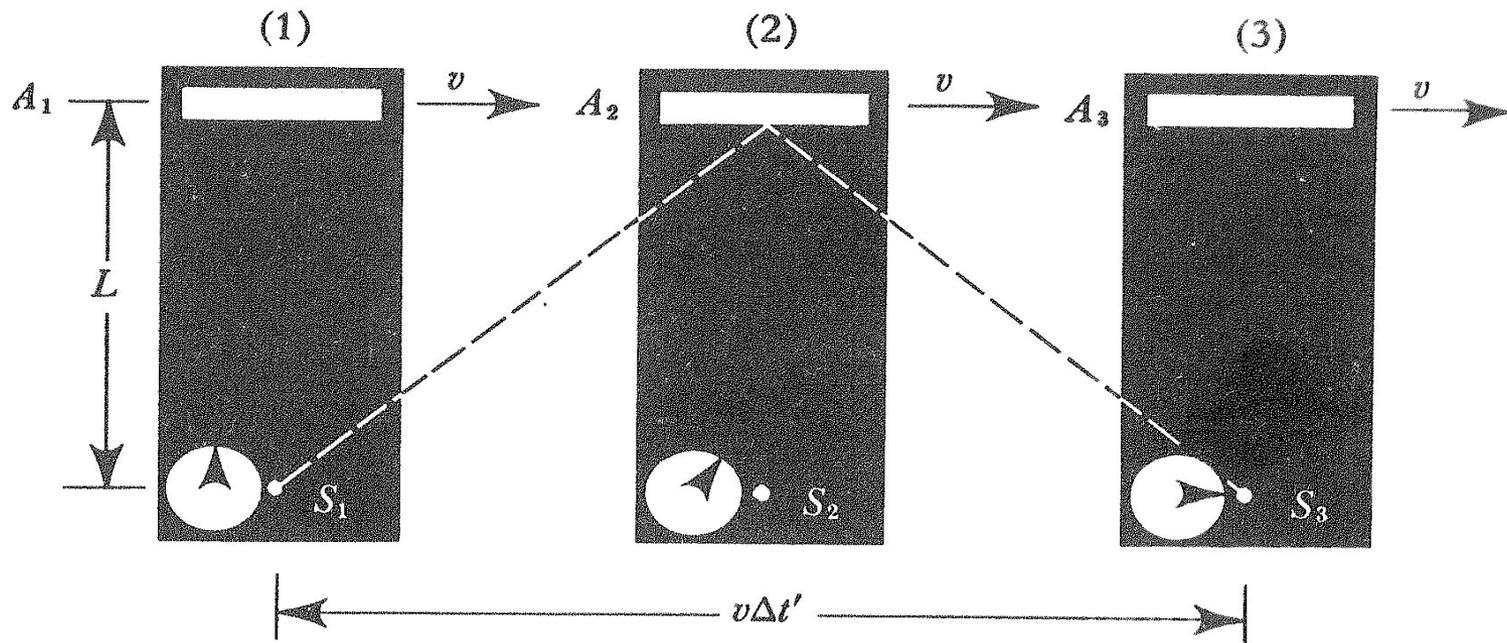
- Intervalo de *tiempo propio*: es aquel que se mide con el mismo reloj presente en dos sucesos.
- Intervalo de *tiempo impropio*: es aquel que ha de medirse con relojes diferentes porque ocurre en puntos diferentes del espacio.



Imaginemos un vagón de longitud L . En S ponemos un reloj y una fuente de luz que mande un rayo luminoso al espejo A . El tiempo empleado por la luz en ir y volver a S será

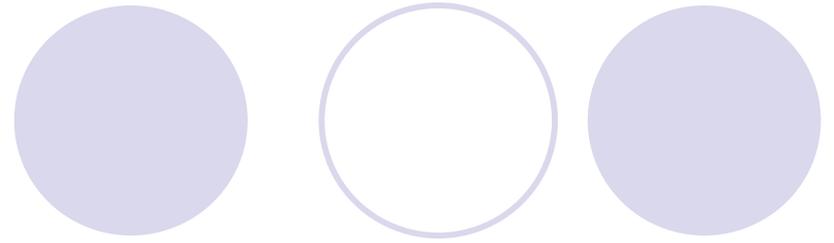
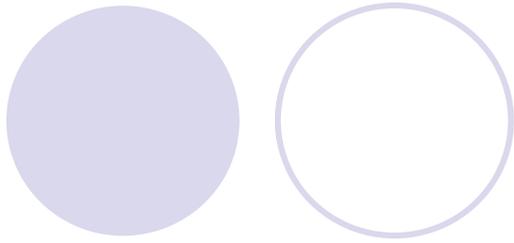
$$t = \frac{2L}{c}$$

Este es un intervalo de *tiempo propio*



Ahora vamos a hacer que el vagón se mueva con velocidad constante v . Para el observador fuera del vagón el tiempo empleado por la luz en ir y volver a S será t' , *tiempo impropio* ya que los dos sucesos no ocurren en el mismo lugar.

$$ct' = 2\sqrt{L^2 + \left(\frac{vt'}{2}\right)^2} \quad t' = \frac{\frac{2L}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

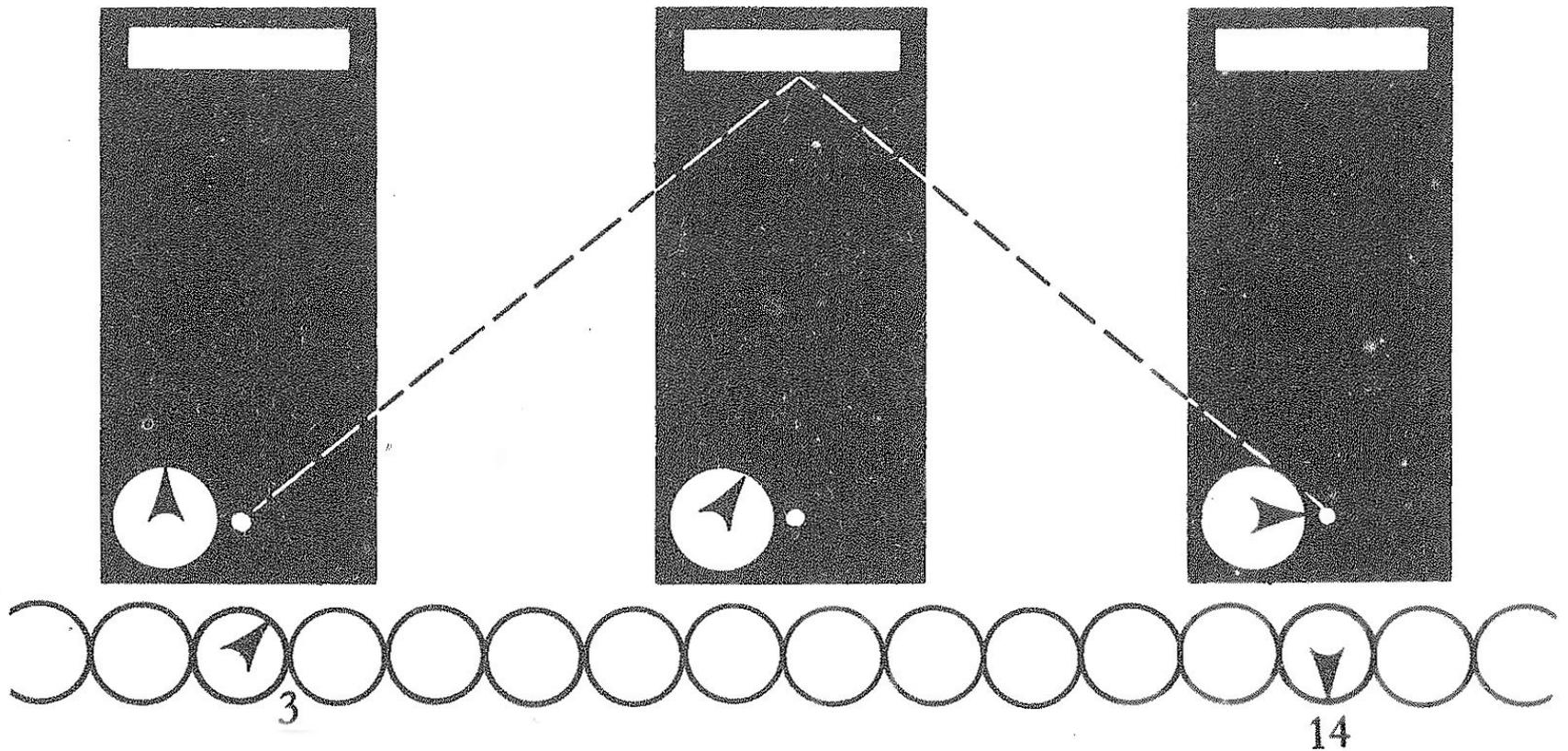


$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Como $v < c$ tendremos que
 $t' > t$, $t_{impropio} > t_{propio}$

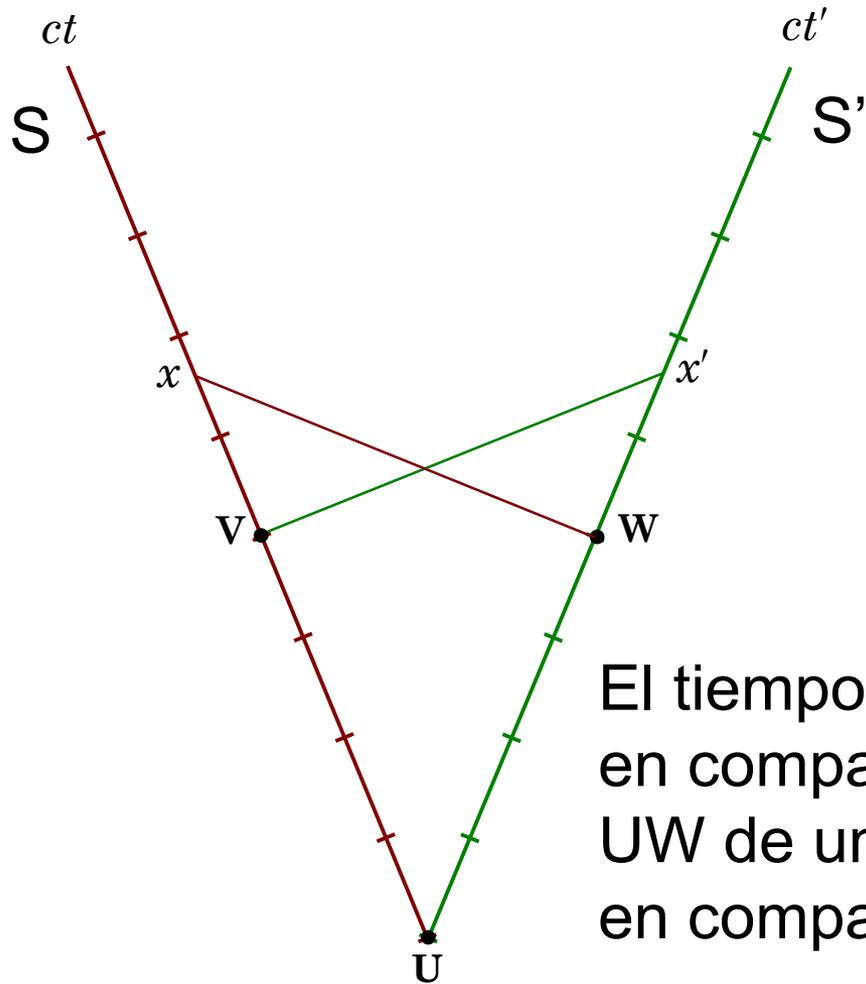
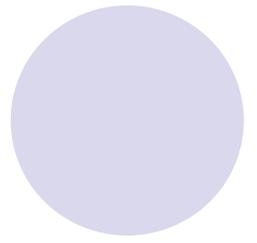
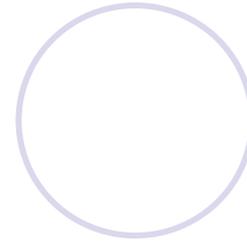
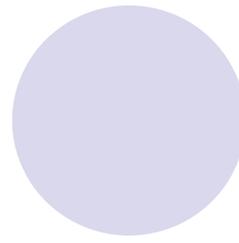
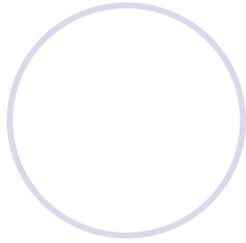
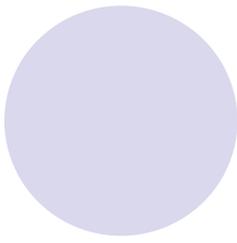
Por tanto para sistemas en los que los sucesos son impropios los intervalos de tiempo se dilatan.

La dilatación del tiempo tiene su origen pues en el hecho de que la velocidad de la luz sea la misma para el observador sobre el vagón que para el que se halla fuera.



Para el observador situado fuera la luz recorre una distancia mayor y por ello el tiempo es mayor. Imaginemos que el tiempo propio es de 15 segundos y el impropio, según los relojes del ejemplo, de 25 segundos. Con ello podríamos calcular la velocidad a la que ha de moverse el vagón.

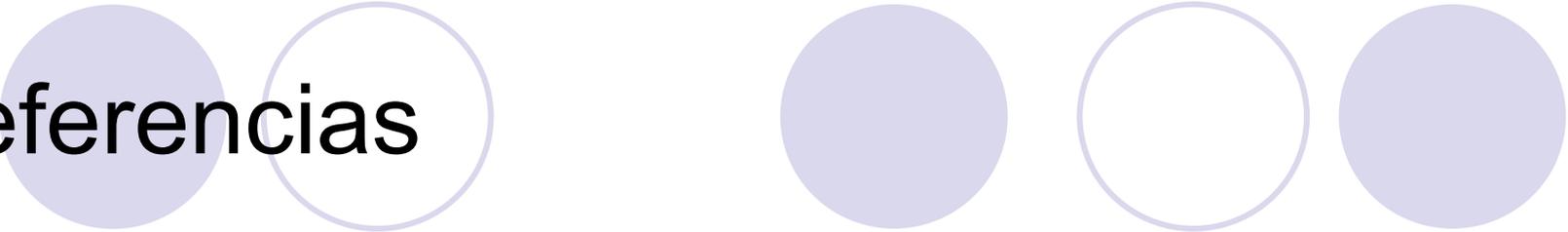
$$v = \frac{4}{5}c = 239834.4 \text{ km/s}$$



El tiempo UV de un reloj en S es más corto en comparación con Ux' en S' , y el tiempo UW de un reloj en S' es más corto en comparación con Ux en S

Comprobación experimental

- La primera prueba de la dilatación temporal se hizo en 1941 (B. Rossi) al estudiar el periodo de desintegración de partículas a velocidades próximas a la de la luz.
- Desde entonces se han hecho muchas pruebas, la última es de 2005 con relojes atómicos precisos mandados entre Londres y Washington.
- El sistema GPS ha de tener en cuenta también este efecto.
- Los resultados obtenidos concuerdan con los predichos teóricamente por la RE.



Referencias

- Smith, James H. *Introducción a la relatividad especial*. Ed. Reverté, SA. Barcelona 1978.
- Casas, Justiniano. *Óptica*. Univ. Zaragoza 1983.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Time_dilation
- http://en.wikipedia.org/wiki/Special_relativity