

Sucesos no simultáneos para dos observadores en distintos marcos de referencia en movimiento uniforme

Pasemos ahora a analizar el caso del movimiento partiendo del famoso ejemplo del reloj de luz de Einstein.

Para ello en la primera figura hemos representado un reloj en reposo que consta de un habitáculo con base y techo espejado donde se dispara un pulso de láser desde la base al techo para que revote generando un tic-tac.

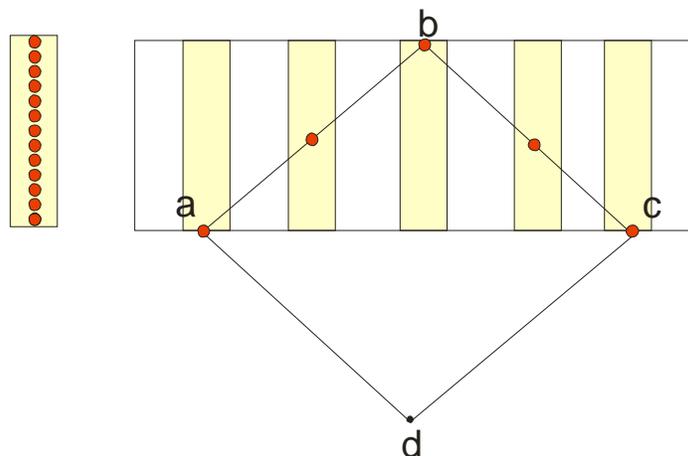
Hemos dibujado el recorrido del láser como si fueran fotones solo por la comodidad de cuantizar su recorrido y facilitar la comprensión gráfica del modelo.

Si nosotros nos movemos con respecto al reloj veríamos algo similar a lo que está representado en la segunda figura, ya que cada punto de la ascensión del rayo lo veríamos desplazado lateralmente.

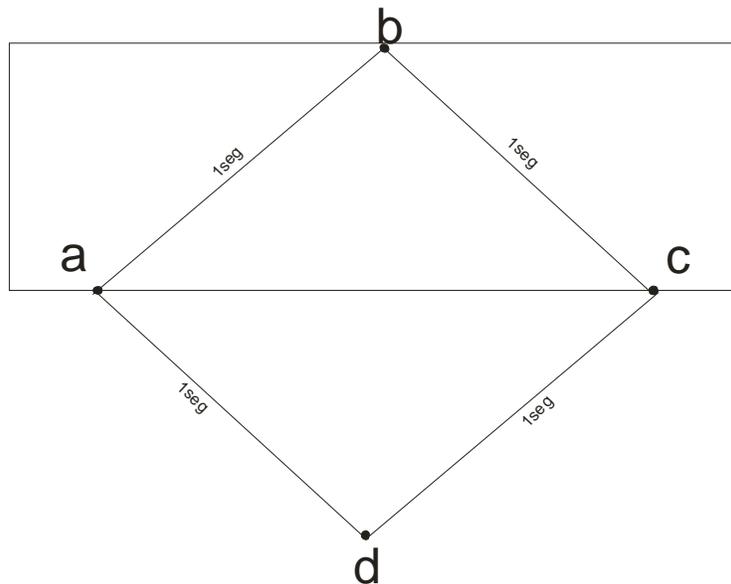
Debemos aclarar que por lo dicho en escritos anteriores esto no puede pasar si el que se mueve es realmente el reloj, ya que el rayo que no es influido por el movimiento de la fuente no lo acompañaría en su movimiento y quedaría fuera del mismo.

Pero si nosotros como observadores exteriores somos los que nos movemos veríamos lo que Einstein nos plantea.

El rayo sale de (a), en la segunda representación del reloj que ya se ha desplazado encontramos el fotón en la mitad del mismo, en la tercera posición ya ha tocado el techo en su centro en el punto (b), en la cuarta posición ya desciende nuevamente a la mitad del reloj y en la quinta posición vuelve a tocar la base en el punto (c) que no es más que el mismo punto (a) que se ha desplazado.



Comprendido esto pasemos a una imagen más simplificada del fenómeno.

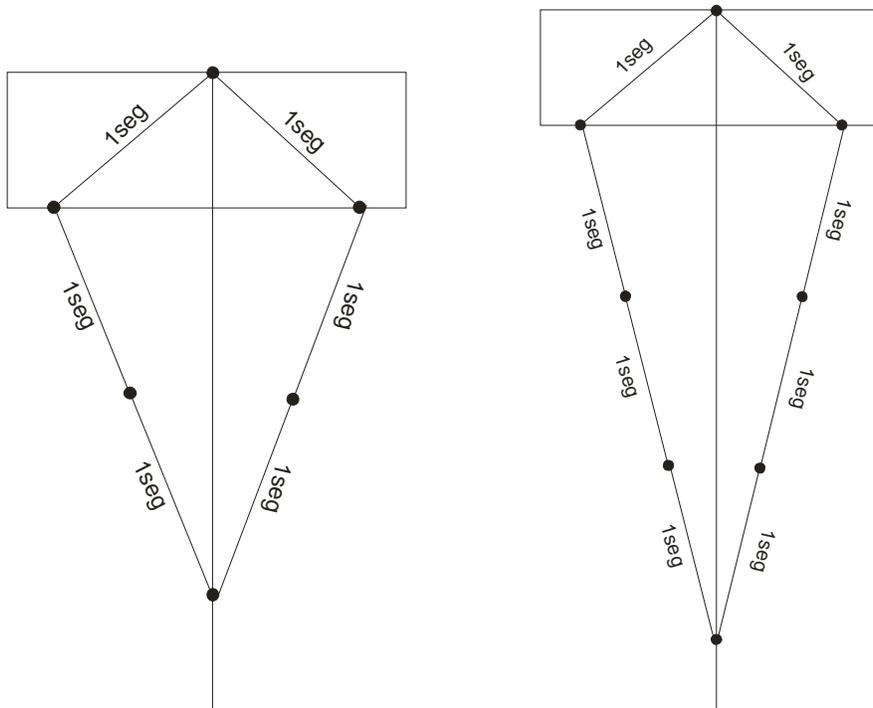


Imaginemos ahora que la distancia de la base al techo del reloj es de 300.000 Km., entonces para el observador que está en el reloj el rayo que parte de (a) tardará un segundo en llegar al techo en (b) y otro segundo en llegar nuevamente a la base en (c), por supuesto como ya dije el punto (c) es el mismo punto (a) que se ha desplazado de lugar. Si ahora tenemos un observador (d) en movimiento uniformemente relativo con respecto al reloj, es decir en otro marco de referencia, pero también a una distancia de 300.000 Km. de (a) cuando vea el destello del rayo que parte de (a) hacia el techo en (b) habrá pasado un segundo, que es el tiempo en que la señal tarda en llegar a él, pero entonces el rayo ya estará en (b) ya que es la distancia que habrá recorrido en un segundo, luego deberá esperar que el rayo llegue a (c) y luego se dirija hacia él por lo que deberá esperar dos segundos.

Entonces para el observador que viaja en el reloj, el tiempo que el rayo demorará para llegar al techo y volver a la base serán dos segundos y para el observador en el segundo marco de referencia también tardará dos segundos, solo que para el primero la partida del rayo en (a) fue instantánea, pero el segundo tuvo que esperar un segundo para verlo simplemente porque estaba más lejos.

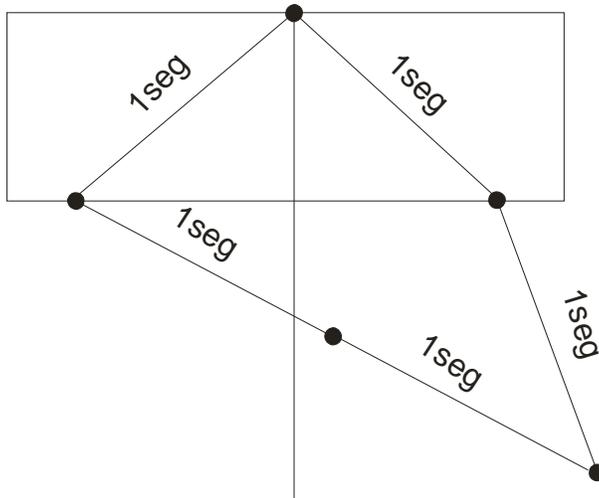
En los siguiente gráficos veremos que aunque el segundo observador esté al doble o triple de distancia siempre la diferencia que percibirá entre la llegada a él de la partida del rayo de la base del reloj y su regreso a ella será como para el observador en el interior del reloj de dos segundos.

En el primero cuando el rayo de (a) llegué a él el rayo ya estará nuevamente en la base y tardará dos segundos ahora de recorrido fuera del reloj para llegar a sus ojos, en el segundo cuando el rayo de (a) llegué a él habrán pasado tres segundo por lo que el rayo ya habrá viajado hasta el techo del reloj, vuelto a su base y recorrido ya otro segundo en su viaje fuera del reloj hacia él, por lo que faltarán nuevamente dos segundos para que llegue a sus ojos.

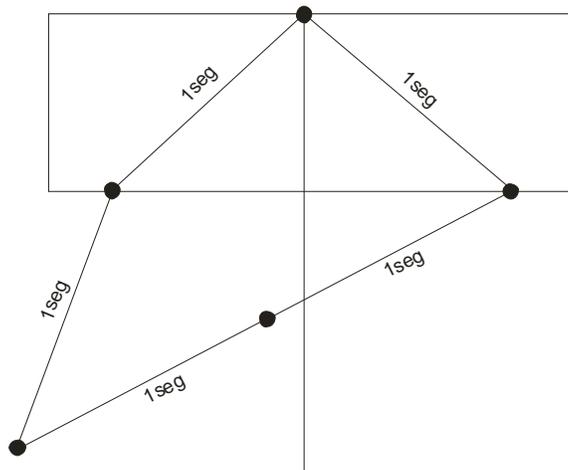


¿Esto significa que el tiempo corre igual tanto para el observador que viaja en el reloj que para el observador en movimiento relativo con respecto a él?

No. Vamos a ver ahora un caso en el que el observador exterior no está en una relación simétrica con respecto al movimiento del reloj. Y aquí vemos que cuando para el observador que viaja en el reloj siguen pasando dos segundos para el observador exterior cuando el rayo que parte de la base llega hasta él pasaron dos segundos en los cuales dentro del reloj el rayo ya llegó al techo y volvió a la base y a partir de allí al observador exterior solo le lleva un minuto poder verlo.



En este caso que hemos analizado el reloj se va acercando a la zona donde está el observador exterior, es decir está acortando las distancias con respecto a él, pero veamos el caso contrario cuando el reloj ya ha pasado por la vertical que se podría tender hacia él y ya se aleja.



Entonces veremos que ahora el rayo que parte de la base tarda un segundo en llegar a sus ojos, por lo tanto el rayo dentro del reloj ha llegado al techo y ahora le resta volver a la base y recorrer dos segundos fuera del reloj para llegar a él, por lo que se da la situación simétricamente inversa y tardará tres segundos en ver el rayo que volvió a la base.

Por lo que en el primer caso lo que para el observador dentro del reloj fueron dos segundos, para el observador exterior fue un solo segundo , es decir un segundo menos; y ahora lo que para el

observador interior siguen siendo dos segundos para el observador exterior son tres, es decir, un segundo más.

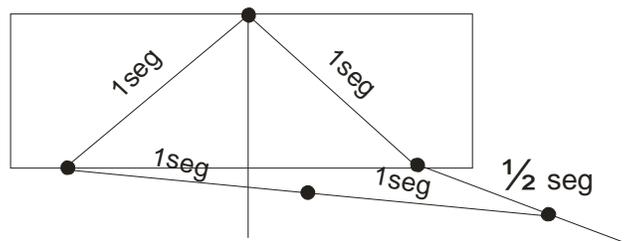
De lo que describimos se desprende que hay un instante privilegiado de simetría entre los dos observadores en el que el tiempo corre igual para ambos y una infinita cantidad de situaciones en el que el tiempo corre distinto pero que terminan equilibrándose entre sí, pues cada posibilidad tiene su contrafigura simétrica.

Pero ahora observemos este último gráfico, que para el caso es lo mismo que los anteriores y comparémoslo con nuestro primer ejemplo de dos observadores en el mismo marco de referencia, es decir en reposo uno con respecto al otro y veremos que sorprendentemente es el mismo caso, si toda esta escena estuviese quieta lo único distinto es que el observador del reloj dispararía el pulso de laser desde la base pero ahora en forma diagonal hacia el techo, pero la diferencia de percepción entre los dos observadores sería la misma y no se debería a ningún movimiento uniforme ni principio de relatividad sino a una simple cuestión de distintas distancias de los observadores.

Es decir, no es en absoluto necesario contemplar la situación del movimiento del reloj para llegar a la misma conclusión.

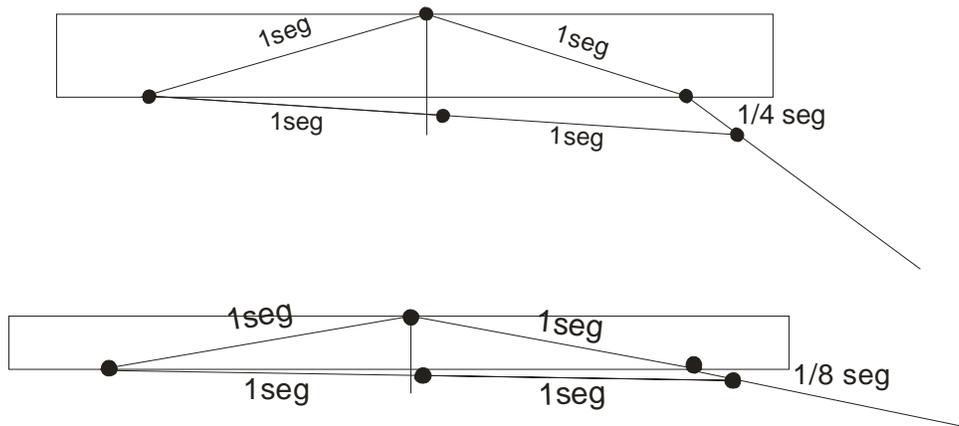
Por otro lado es importante apuntar aquí que en el caso del reloj de luz de Einstein el observador exterior tendría dos pruebas contundentes de que es él el que se mueve, primero porque la luz del reloj que le es exterior no podría viajar en forma diagonal si fue lanzada hacia arriba en forma vertical ya que no depende del movimiento de su fuente y porque si él lanzara un rayo de luz en su propio marco de referencia vería que este no lo acompaña y quedaría detrás, es decir, si el viajara en el interior de otro reloj propio el rayo no tocaría el techo espejado en su centro, sino hacia atrás con relación al sentido de su movimiento.

Volvamos al grafico que representa el reloj de luz acercándose a la zona del observador exterior y ahora imaginemos que el observador se acerca aún más al lugar por donde va a pasar el reloj.

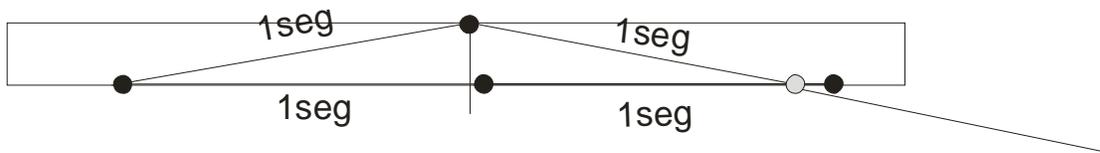


Es evidente que cuanto más se acerque el observador al reloj verá por la perspectiva del movimiento que el reloj se desplaza más rápido, del mismo modo que cuando viajamos en tren vemos desplazarse la arboleda próxima mucho más rápido que la que está a la distancia, por lo tanto ahora el observador tardará menos en ver la llegada del rayo a la base y de este modo los dos sucesos, el de la partida del rayo y el de la llegada acortarán su período a $1/2$ seg.

Si seguimos acortando la distancia del observador veremos que el punto que representa la llegada del rayo a la base y el punto que representa al observador acortan sus distancias como se ve en los dos gráficos siguientes.



Ahora supongamos que el observador se acerca tanto que su ubicación llega a coincidir con la llegada del rayo a la base del reloj (lo representaremos en gris para diferenciarlo de los puntos negros que marcan las distancia de los segundos) y entonces veremos que el rayo que parte de la base desde donde fue emitido llega un poco antes de dos segundos mientras que el que se refleja en el techo y vuelve tarda dos segundos exactos como sería lógico suponer.



Como vemos al ir representando una mayor velocidad del reloj debemos ir “aplastando” cada vez más las líneas que representan la subida y la bajada del rayo acercándose al punto en el infinito en que se desplazaría en línea recta, es decir, sin subir y bajar y tardaría en recorrer los 600.000 Km. lógicos en dos segundos como sería de esperar de un rayo que parte desde esa distancia en forma rectilínea y absolutamente perpendicular hacia nosotros. La designación de 0 segundos en

el gráfico designa que ahora no existe distancia ni diferencia temporal entre nuestro observador y el punto de llegada del rayo.



En la situación inversa en la que el reloj se aleja de nosotros se acerca ahora en el infinito al simple caso de un rayo que parte instantáneamente desde nuestro punto de vista y tarda cuatro segundos en ir y volver recorriendo ahora 1.200.000 Km. como sucedería si enviamos un rayo hacia un espejo ubicado a 600.000 Km. de distancia, ya que la luz viaja aproximadamente a 300.000 Km. por seg., es decir, 600.000 Km. en dos segundos de ida y otro tanto de vuelta.

