

Preliminares.

Leer el artículo: 'Physics in a New Era'
Applequist & Shapero (PSOC)
Physics Today, Nov. 2001, pag. 34
(www.physicstoday.org)

Tarea: Escribir un resumen de dos páginas describiendo las metas, recomendaciones y conclusiones de este comité.

1.1. Breve revisión histórica

➤ Física Clásica S. XVI – XIX Desarrollo de la mecánica Y el electromagnetismo	Brahe	1601
	Copernico	1543
	Kepler	1627
	Galileo	1610
	Newton	1687
	Maxwell	1855
	Boltzmann	1880
	Lorentz	1890
➤ Física Moderna S. xx Teoría de la relatividad y la teoría cuántica	Einstein	1905 - 15
	Planck	1905
	Heisenberg	
	Schroedinger	
	Hawking	

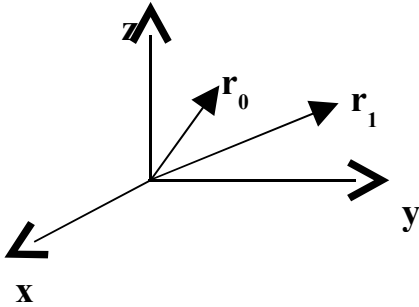
Para revisión histórica de la física. (www.groups.dcs.st-and.ac.uk/history)

Retos y metas de la física moderna

1. El desarrollo de tecnologías cuánticas
2. La creación de nuevos materiales
3. La mejor comprensión de los sistemas complejos
4. Unificación de las fuerzas de la naturaleza
5. La exploración del universo
6. La aplicación de los principios físicos a los sistemas biológicos

1.2. Teoría de la relatividad

➤ Estado de un sistema mecánico



(\mathbf{r}_0, t_0) estado el inicial

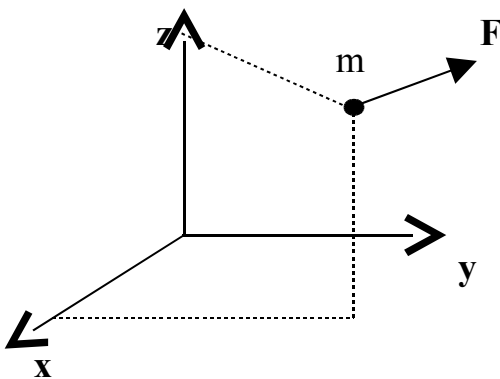
(\mathbf{r}_1, t_1) estado en t_1

➤ Relatividad clásica

¿Cómo se transforma la descripción de un sistema físico cuando pasamos de un sistema de coordenadas a otro?

- ¿Las Leyes de Newton?
- ¿Las Leyes de Maxwell?

➤ Leyes de Newton

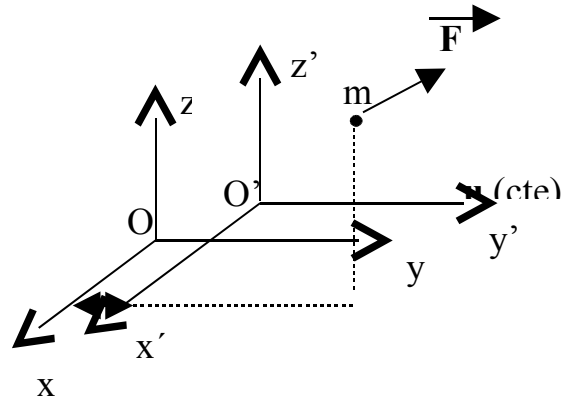


$$ma_x = m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = F_x$$

$$ma_y = m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = F_y$$

$$ma_z = m \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = F_z$$

➤ **Movimiento relativo**



$$O(x, y, z, t) \longrightarrow O'(x', y', z', t)$$

transformaciones galileanas

$$\begin{aligned} x' &= x - ut \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned}$$

derivando,

$$\frac{\partial x'}{\partial t} = \frac{\partial x}{\partial t} - u$$

derivando de nuevo

$$\frac{\partial^2 x'}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$$

multiplicando por m

$$m \frac{\partial^2 x'}{\partial t^2} = m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$$

$$F_{x'} = F_x$$

- Conclusiones:
- las ecuaciones de newton son invariantes ante una transformación galileana.
Las leyes de Newton son idénticas en cualesquiera dos sistemas inerciales

➤ **Leyes de Maxwell**

$$3 - \oint \vec{B} d\vec{l} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \oint \vec{E} d\vec{A}$$

$$4 - \oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \oint \vec{B} d\vec{A}$$

- Las leyes de Maxwell si cambian ante una transformación galileana.
- La aplicación de las transformaciones galileanas de las ecuaciones de Maxwell llevan a la medición de que la velocidad de la luz en el nuevo marco de referencia debe ser diferente a la velocidad C .
- Las ecuaciones de Maxwell son válidas para un marco de referencia en reposo con respecto al éter, $V' = C - V$, siendo el éter el medio a través del cual, se postuló, se propagan las ondas electromagnéticas.

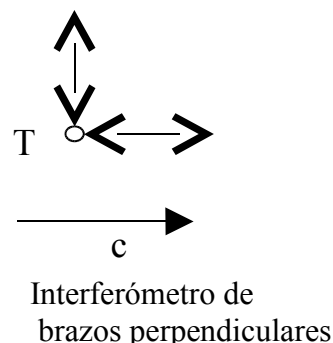
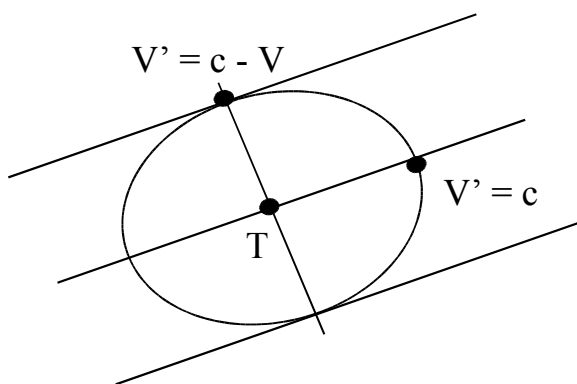
Esta teoría predijo que la velocidad de la luz es

$$c \cong 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

Fizeau (1849) obtuvo un resultado experimental muy cercano a este valor.

➤ **Experimento Michelson – Morley (1887)**

Diseñado para determinar la velocidad de la tierra con respecto al marco del éter.



El resultado de M-M fue negativo, en el sentido de que no se detectó ninguna diferencia de la velocidad de la luz en las dos direcciones perpendiculares.

- Hipótesis del arrastre del éter, se propuso para intentar explicar el resultado negativo de M-M: la tierra arrastra el éter de modo que el marco de referencia del éter esta en reposo con respecto a la tierra

La tierra es un lugar muy especial en el universo

(La teoría antrópica, es un ejemplo contemporáneo de una hipótesis que no es susceptible de ser negada, luego no un acuerdo amplio de que debe ser considerada como hipótesis científica)....

➤ **Contracción de Lorentz**

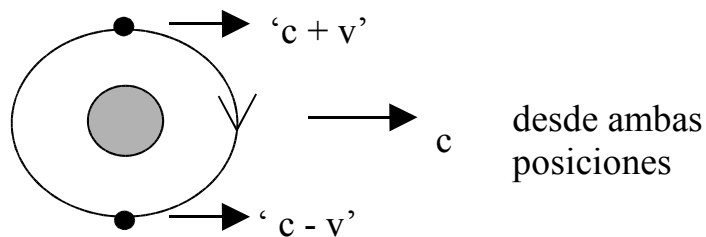
Debido al movimiento con respecto al éter, todas las longitudes se contraen por

un factor de $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}$ en la dirección del movimiento.

(Tarea: demostrar que la inclusión de este término en el experimento M – M puede explicar su resultado negativo)

- Teoría de la emisión, propuso que la velocidad de la luz permanece asociada a la velocidad de la fuente que la emite

Se demostró errada mediante observaciones de estrella binarias



- Conclusiones
 - No hay pruebas de la existencia del éter
 - No hay marcos de referencia ‘especial’

➤ **Postulados de Einstein (1905)**

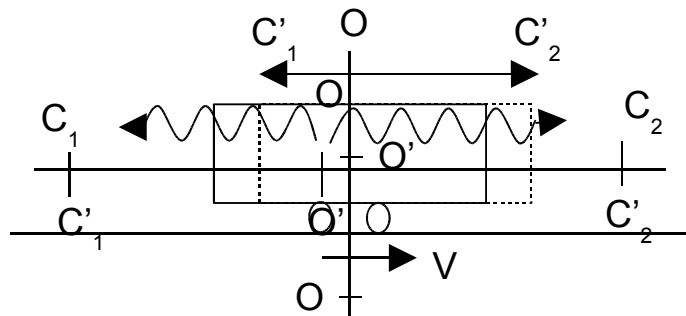
1. Las leyes de la naturaleza (mecánica + em) son las mismas en todos los marcos de referencia inerciales: todos los marcos de referencia son 'equivalentes'
-Principio de la relatividad especial
2. La velocidad de la luz, c , es constante en todos los marcos de referencia inerciales y es independiente del movimiento de la fuente.

Consecuencias → nacimiento de la física moderna

➤ **Simultaneidad**

Dos eventos que se observan simultáneos desde un marco de referencia no lo son cuando se observan desde otro en movimiento relativo con respecto al primero.

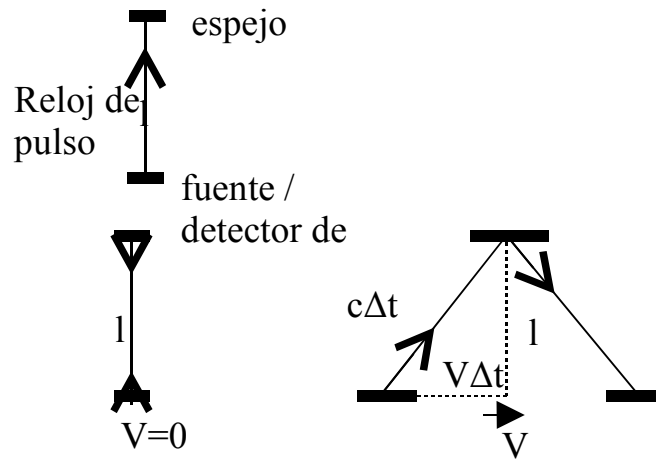
Para el observador O' (en reposo con respecto a la superficie), la señal luminosa llega primero a C_1 que a C_2 .



Para el observador O (en el andén) la luz llega primero a C'_1 que a C'_2 , luego para él ambos sucesos no son simultáneos, lo que si es para O' (en el tren).

➤ **Dilatación del tiempo y contracción de la longitud**

- Tiempo



$$c^2 \Delta t^2 = v^2 \Delta t^2 + l^2$$

Resolviendo por Δt

$$\Delta t^2 = \frac{l^2}{c^2 - v^2} = \frac{l^2}{c^2} \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$

$$\Delta t = \frac{l}{c} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\frac{l}{c} = \Delta t_0$ es el intervalo medido por el observador en reposo con respecto a la tierra

Luego,

$$\Delta t' = \Delta t_0 \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \frac{\Delta t'}{\Delta t_0} > 1$$

- **Longitud**

Para el observador en reposo con respecto a tierra,

$$l = (?)\Delta t_0$$

para el observador en movimiento,

$$l' = (?)\Delta t'$$

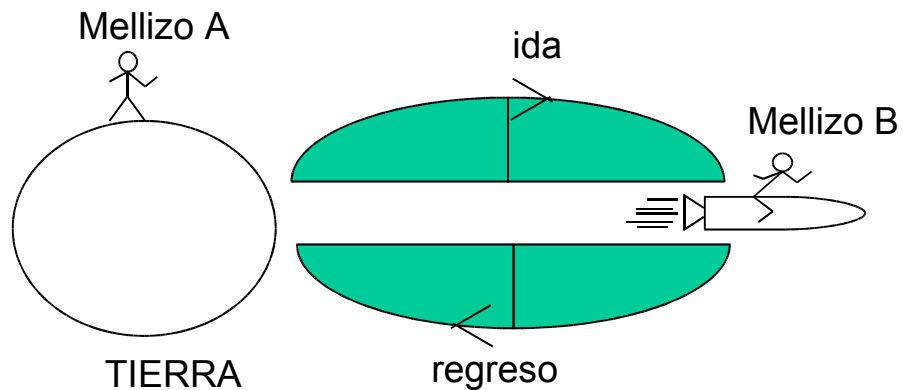
$$\frac{l'}{l} = \frac{\Delta t'}{\Delta t_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1$$

La longitud se contrae en la dirección el movimiento.

Nota. El efecto de dilatación del tiempo (o el de la contracción de longitud) es recíproco, para el observador en el tren (o en una nave espacial) los objetos en tierra le aparecen más cortos que cuando los midió previamente

por el mismo factor $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

➤ **La paradoja de los mellizos.**



2 relojes idénticos
2 mellizos



A se queda en tierra
B se va y regresa

Supongamos que B tiene 20 años y viaja a velocidad de $V = 0.8C$ hasta una estrella a $L_0 = 20$ años – luz de distancia. Luego da la vuelta y regresa a la tierra.

Para su hermano A, el tiempo para B transcurre más lento durante el viaje. De hecho,

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0.6 = 60\%$$

Luego, A concluye que B envejece más lentamente que él. Finalmente, después de 50 años según la () de A, su hermano B regresa a casa. Según B, él solo ha viajado durante 30 años y su edad es de 50 años; para entonces hermano A tiene, 70 años de edad.

La paradoja = desde un punto de vista de B, sin embargo, la recíproco también es cierto. Su hermano A ha viajado a la velocidad no con respecto al del sistema de B y debe lucir 20 años más joven ???

La solución:

A ha permanecido en un mismo sistema inercial durante todo el tiempo; en cambio B, cambia de una velocidad +V, a otro con velocidad -V (con respecto a A) durante el trayecto. Esto implica aceleración. Luego la reciprocidad no es correcta desde el punto de vista de B.

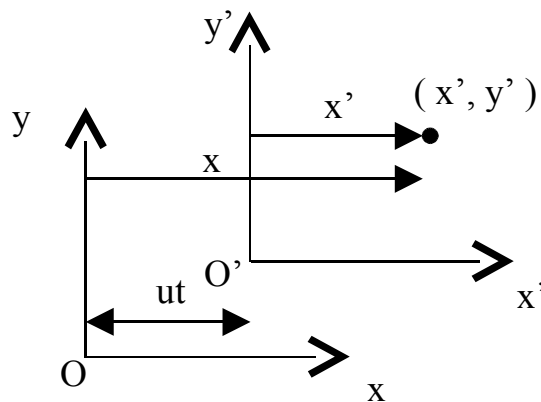
La conclusión de A es la correcta y B retorna del viaje más joven, junto con su calendario y su reloj.

➤ El tiempo propio

Es el intervalo de tiempo $(\Delta t)_0$ medido en un sistema de coordenadas en el cual el reloj está en reposo

➤ Longitud propia, Δl_0

➤ Transformaciones de Lorentz



$$x = ut + x' = ut + x' \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} \quad (1)$$

Visto desde O

Luego

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Desde O'

$$x' = -ut' - x \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} \quad (2)$$

Igualando (1) y (2) tenemos

$$t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad ; \text{ Luego } t \neq t'$$

Escribiendo

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

tenemos que las transformaciones de coordenadas de Lorentz son,

$$x' = \gamma(x - ut) \qquad t' = \gamma\left(1 - \frac{ux}{c^2}\right)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Tarea: demostrar que la transformación de Lorentz para la velocidad es

$$u' = \frac{v - u}{1 - u \frac{v}{c^2}} \quad \text{si } u=c$$

➤ **El cono de luz (the worldline)**

Si escogemos un evento dado O como origen de coordenadas, la trayectoria de una partícula (en una dimensión) puede describirse mediante una línea

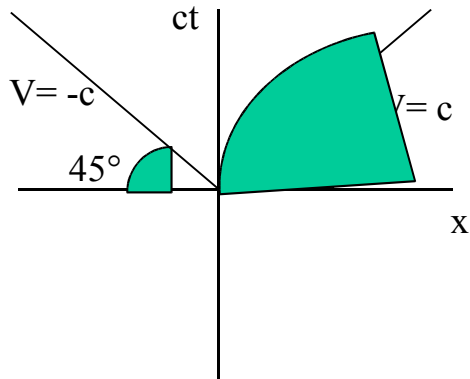


Diagrama espacio – tiempo

Tarea: Ejemplo 39 – 10 (Young – Freeman: University Physics) : Simultaneidad en el diagrama espacio – tiempo.

➤ **Efecto Doppler**

Para una onda luminosa / em

$$\lambda V = C \quad (\text{constante})$$

$$V = \sqrt{\frac{c + u}{c - u}} V_0$$

Luego

$$\frac{\Delta V}{\Delta V_0} = \frac{u}{c}$$

➤ Energía y momentos relativistas

El momento (o cantidad de movimiento) de una partícula libre de masa m que se mueve a una velocidad V se define como

$$P = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

y la energía

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ambas magnitudes forman un cuatro-vector

(ecuaciones)

para $v = 0 \longrightarrow E_0 = mc^2$, que relaciona la masa de un cuerpo en reposo con su contenido energético.

➤ **El fotón**

En mecánica clásica una partícula en reposo con respecto a una masa de referencia O tiene momento y energía cinética nulos; en mecánica relativista éste no es necesariamente el caso.

En mecánica relativista la relación entre energía y momento es,

$$\vec{p} = \frac{E}{c^2} \vec{v}$$

Si $v = c$, entonces
$$\vec{p} = \frac{E}{c} \vec{n} \quad (1)$$

Pero
$$p^2 - \frac{E^2}{c^2} = -m^2 c^2 \quad (2)$$

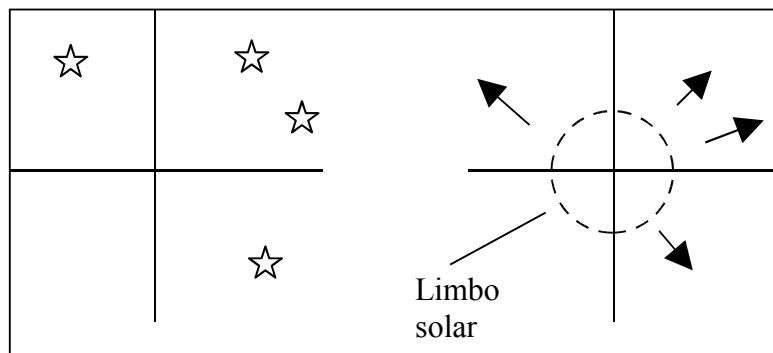
Sustituyendo (1) en (2) nos queda: $m = 0$. Esto quiere decir que las partículas que se mueven a la velocidad de la luz tienen masa en reposo nula, como es el caso del fotón. Partículas que se mueven a la velocidad de la luz tienen masa en reposo nula, como es el caso del fotón.

El fotón posee masa inercial y, por ende, momento lineal. (Uno no puede 'pesar' un fotón en una balanza puesto que nunca estará en reposo, pero sí puede medir su momento haciendo que la 'golpee', como en el experimento de las laminillas de aluminio pintadas en plata y negro).

➤ **Relatividad general y cosmología.**

La teoría general fue desarrollada por Einstein en 1916. Las bases matemáticas fueron construidas por () y Riemann, Ricci y Levi – ().

La confirmación más espectacular fue realizada en 1919, por la expedición inglesa encabezada por Eddington. De la observación de un eclipse solar.



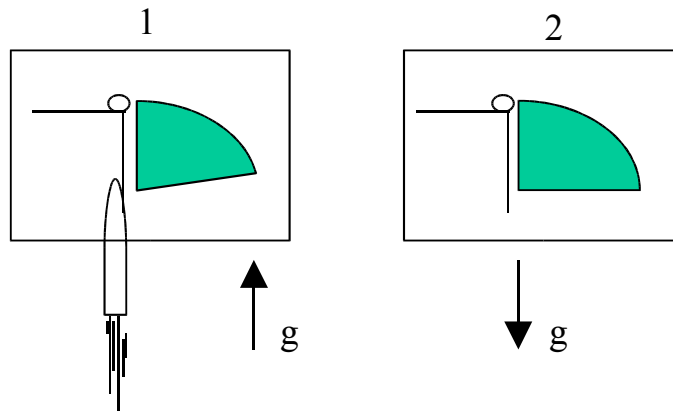
El mismo campo estelar fue fotografiado antes y durante el eclipse; las flechas representan la desviación de la luz estelar al pasar cerca del limbo solar.

➤ **Postulados de la relatividad general**

- Las leyes de la naturaleza son las mismas en todos los marcos de referencia
 - Principio de relatividad
- La aceleración constante es completamente equivalente a un campo gravitacional uniforme.
 - Principio de equivalencia

➤ Principio de relatividad

En un sistema 'cerrado' no es posible distinguir entre una fuerza inercial o una gravitacional para explicar el movimiento de los cuerpos en su interior.



Par un observador en una nave espacial es imposible distinguir si la pelota cae al piso de la nave impulsada por un cohete a una aceleración g o si la nave esta en reposo en un planeta de campo gravitacional g .

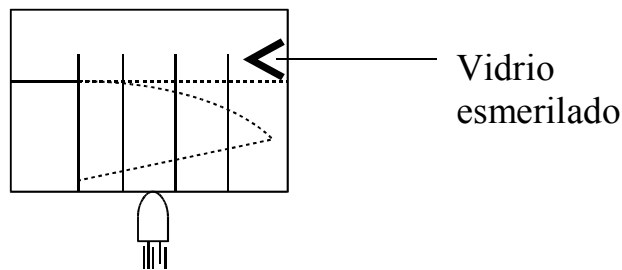
De modo que la física es la misma en ambos sistemas.

Esto es posible porque la fuerza debida a la gravedad no depende de naturaleza del cuerpo, solo de su masa.

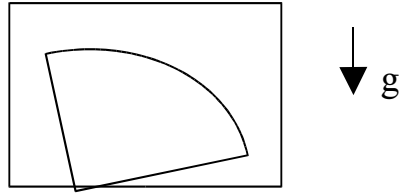


(teoría)

Pero que ocurre si intentamos utilizar un rayo de luz ----- clásicamente un rayo de luz () una línea recta, luego bastaría seguir la trayectoria del rayo para averiguar como nos movemos:



cómo este viola al 'principio de relatividad' Einstein propuso que un rayo de luz debe 'doblarse' en un campo gravitacional y tuvo razón.

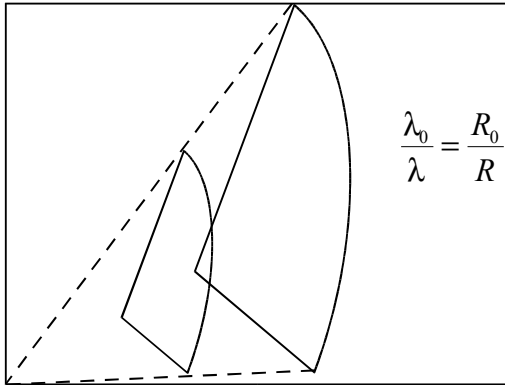


esto fue comprobado por los resultados del eclipse total de sol de 1919 en África.

➤ **La expansión del Universo.**

La relatividad general explica () Doppler no debido al movimiento de expansión de las galaxias en el espacio, sino a la expansión del espacio mismo.

‘Modelo del globo inflándose’. A medida que el globo se infla la separación entre dos puntos aumenta a una tasa que depende de la distancia



Problema

Un avión que se mueve a 600km/h con respecto a tierra transporta un reloj sincronizado al salir con un reloj en tierra. Determine cuanto tiempo le tomará al reloj en el avión retrasarse 2 microsegundos.

- partimos de la expresión, $\Delta t_{tierra} - \Delta t_{avion} = 2\mu s$ y de la expresión para la dilatación del tiempo:

$$\Delta t_{tierra} = \frac{\Delta t_{avion}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Ahora aplicamos la condición límite para la raíz cuando usando el teorema general del binomio de Taylor: cuando $\frac{v^2}{c^2} \rightarrow 0$,

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{2 \times 10^2}{3 \times 10^8} \right)^2 = 1 - \frac{2}{9} \times 10^{-12}$$

Luego, $\Delta t_{tierra} - \Delta t_{avion} = \Delta t_{tierra} \left(1 - 1 + \frac{2}{9} \times 10^{-12} \right) s = 2 \times 10^{-6} s$

Entonces despejando por el tiempo en tierra, tenemos,

$$\Delta t_{tierra} \approx \frac{2 \times 10^{-6}}{\frac{2}{9} \times 10^{-12}} s = 9 \times 10^6 s = 104.2 \text{ dias.}$$

Comprobemos la veracidad del desarrollo de Taylor:

x	$\sqrt{1-x}$	$1 - \frac{1}{2}x$
0.5	0.7	0.75
0.25	0.9	0.85
0.1	0.95	0.975
0.01	0.99	0.995

Lo que esta tabla quiere decir es que la aproximación tomada en este problema es correcta.

