

LA PARADOJA DEL GUSANO RELATIVISTA EN LEVITACIÓN, ALTERNATIVA DIDÁCTICA

Ángel Torregrosa Lillo (Agrupación Astronómica de Alicante)

J. L. Junquera y A. Gallego publicaron [1] en la Revista Española de la Física un artículo en el que planteaban y resolvían la “paradoja del gusano relativista en levitación”. En este artículo vamos a ampliar la explicación a dicha “paradoja”, o mejor dicho, a resolverla y aclarar que no hay paradoja por métodos que creemos más intuitivos y visualizables que tal vez sean útiles en el campo de la enseñanza de la relatividad.

Para el planteamiento de la paradoja casi copiaré aquí el realizado por Junquera y Gallego con un pequeño cambio de nomenclatura:

Una nave espacial R' se aleja de la estación espacial R con velocidad constante v , en la dirección negativa del eje X . Tanto la estación como la nave se consideran referencias inerciales, con sus tres ejes espaciales paralelos entre sí. Dentro de la nave, un ascensor con el suelo paralelo al plano XY (horizontal) está subiendo en la dirección positiva del eje Z , con velocidad constante (según un observador en la nave) de valor v'_a . Mientras sube, un gusano se arrastra por su suelo con una velocidad constante (con respecto al ascensor) igual a la que lleva la nave, pero en sentido contrario.

Para el observador de la nave, el ascensor y el gusano que se arrastra por su suelo suben a la misma velocidad v'_a . Pero para el observador en la estación espacial la situación es diferente.

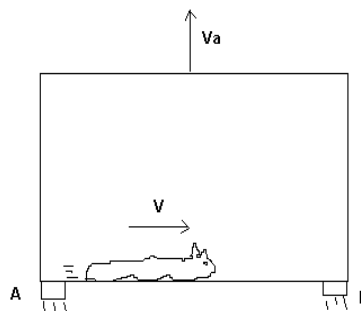
Por las fórmulas de Lorentz tenemos que el ascensor ascenderá a una velocidad v'_a/γ mientras que el gusano ascenderá a velocidad $\gamma v'_a$ [1] con

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

La paradoja surgía pues el gusano levitaba o no respecto al suelo del ascensor según el observador que tomemos, en un primer vistazo al problema (según el observador en la nave no levita y según el observador en la estación sí levitaba), pero se resolvía teniendo en cuenta que para el observador en la estación espacial la plataforma del ascensor está inclinada de modo que siempre está en contacto con el gusano durante su avance.

Desde un punto de vista intuitivo y de comprensión el punto más difícil de **comprender es el porqué de la inclinación de la base del ascensor**. Para aclararlo debemos pensar en la relatividad de la simultaneidad:

Pensemos en el ascensor simplemente. En un momento dado el gusano pulsa el botón de ascenso y empieza a subir. Para el observador de la nave ambos extremos (A y B) del ascensor han comenzado a subir simultáneamente, pero lo que es simultáneo para el observador de la nave no lo es para el observador de la estación espacial, o incluso para el propio gusano.



Como herramienta didáctica podemos imaginar que el ascensor tiene dos cables o impulsores hidráulicos, uno a la izquierda junto a A y otro a la derecha junto a B . Es un problema de simultaneidad. Para la nave ambos motores se ponen en marcha al mismo tiempo mientras que para el observador de la estación, o para el gusano si preferimos, se pone en marcha antes el motor de la derecha, provocando una inclinación de la base del ascensor. Se podría poner el ejemplo de la lámpara en el centro del ascensor y que se activan los motores cuando los rayos de luz llegan a los motores.

Puede ser interesante ver que la diferencia de tiempo entre la puesta en marcha de un motor y otro del ascensor será

$$\gamma^2 Lv/c^2$$

(Siendo L la anchura del ascensor medida por el observador de la estación, $L=L'/\gamma$).

Y esta diferencia de tiempos nos dará la diferencia de alturas entre lados del ascensor, que será de

$$v_a \gamma^2 L v / c^2$$

Simplemente, se ha cambiado de sistema de referencia y ahora el eje de tiempos se ha girado de modo que las coordenadas temporales han cambiado. Los planos de simultaneidad han cambiado pero **la base del ascensor se mantiene en el plano de simultaneidad del observador de la nave.**

Desde el punto de vista educativo que estamos planteando también puede resultar difícil “ver” el que **la velocidad del gusano sea desde el punto de vista de la estación $\gamma v'_a$.**

Para la explicación intuitiva de esta velocidad hemos de pensar previamente que el ascensor, desde el punto de vista de la estación, ha “encogido”, se ha estrechado, midiendo para este observador L/γ de modo que el gusano tendrá que recorrer menos distancia. Así, el tiempo que el gusano tardará en atravesar el ascensor será también menor en ese *factor* $1/\gamma$.

$$t = t' / \gamma$$

Entonces, dado que el espacio que subirá el ascensor en el tiempo en que el gusano atraviesa el ascensor debe ser el mismo para ambos sistemas de referencia, la única forma de que

esto ocurra es que la velocidad de subida del gusano sea mayor justo en γ veces.

$$v_a = e/t = e'/t'/\gamma = \gamma v'_a$$

En resumen, no hay problema con que la velocidad de ascenso sea mayor, ya que es menor el tiempo de subida y el espacio subido por el gusano será el mismo en ambos sistemas de referencia (de todos modos este modo de estudio de la velocidad vertical del gusano ha de ser tomado solo como una aproximación didáctica, puesto que dicha velocidad dependería en un estudio a fondo de la propia velocidad del gusano atravesando el ascensor por una rampa inclinada).

Conclusión:

La paradoja del gusano relativista en levitación es resoluble y por lo tanto no existe tal paradoja, como ya mostraron Junquera y Gallego, y además es “visualizable” de un modo intuitivo como acabamos de ver.

Referencias:

[1] José L. Junquera y Antonio Gallego “La paradoja del gusano relativista en levitación”, Rev. Esp. Fis. Vol 21(num 3), (1997)
<http://rsef.uc3m.es/images/REF/vol21n3/12.pdf>

Un ejemplo numérico que puede resultar de ayuda para la comprensión de la velocidad de subida del gusano.

Voy a suponer que la nave tiene dos plantas y a ponerle números al caso.

Supongamos

$v=0.6$ (del gusano y nave)

$\gamma = 1/0.8 = 1.25$

$v_a=0.1$ (la de subida del ascensor relativa a la nave)

altura de una planta = 0.1

anchura del ascensor = 0.6

y supongamos que desde el punto de vista de la nave el gusano avanza por el ascensor durante una unidad de tiempo propia mientras el ascensor sube, de modo que justo cuando atraviesa el ascensor ha llegado a la puerta de la planta siguiente y sale por la puerta del otro lado. El tiempo de ascenso del ascensor es igual al tiempo de avance del gusano y el gusano ha subido justo una planta en una unidad de tiempo de la nave.

¿Como será desde el punto de vista de la estación (o del gusano en este caso)?

la anchura del ascensor es $0.6/\gamma = 0.48$

entonces el tiempo en "desplazarse la superficie del ascensor" respecto al gusano, o sea en acercarse la pared de enfrente del ascensor será $t^* = 0.48/v = 0.48/0.6 = 0.8$

$v_a^* = \gamma 0.1 = 0.125$ (esto es según los autores del artículo)

a esa velocidad el gusano asciende $0.125 * 0.8 = 0.1$

¡justo la altura de una planta!

