

## GUARDIANES DE LA GALAXIA Y LA RELATIVIDAD ESPECIAL

Star-Lord y Rocket Raccoon (Mapache Cohete) se dirigen en dos naves diferentes, desde diferentes puntos de origen, a la nueva base lunar de los Guardianes de la Galaxia en el lado oscuro de la Luna de la Tierra, donde les esperan Groot, Gamora y Drax El Destructor (que consideraremos en reposo respecto a Star-Lord y Rocket).

a) Si Ship (The Milano en la película) mide 40 m de longitud propia en el sistema en el que Star-Lord está en reposo, encuentra la longitud de The Milano cuando se acerca a la Luna con velocidad  $v_S = 0.8c$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz, encuentra la longitud de The Milano (Ship) para los observadores en reposo en la Luna (Groot, Gamora y Drax).

b) ¿Cuál será la longitud de la nave espacial de Rocket que observan el resto de los Guardianes, en la Luna, si la longitud propia de la nave de Rocket es de 10 m y se dirige hacia ella con velocidad  $v_R = 0.6c$ ?

c) Encuentra la velocidad relativa con la que se mueven las naves de Star-Lord y Rocket en los siguientes casos: 1) se mueven en la misma dirección y sentido, 2) se mueven en la misma dirección pero en sentidos opuestos. (En ambos casos se mueven hacia la Luna).

EXTRA BONUS (1) : Star-Lord pone una cassette en su walk-man y envía una señal electromagnética a la Luna en ese momento que es monitoreada por sus amigos en la luna. En su sistema de referencia (según un reloj en la nave) dura 121 minutos la reproducción completa de la cassette, que es el tiempo que tarda en llegar a la Luna ( $v_S = 0.8c$ ). ¿Cuánto dura la reproducción de esa cassette observada desde la Luna? ¿A qué distancia se encontraba de la Luna Star-Lord? Explica las medidas de espacio y tiempo desde los dos sistemas de referencia.

EXTRA BONUS (2): Rocket se pone a fabricar uno de sus artilugios mientras llega a la Luna. Envía una señal electromagnética que es monitoreada por sus amigos en la luna. En su sistema de referencia (según un reloj en la nave), tarda 180 minutos en acabar su nuevo bazooka láser y en llegar a la Luna ( $v_R = 0.6c$ ). ¿Cuánto dura el proceso de fabricación del bazooka láser según los Guardianes en la Luna? ¿A qué distancia se encontraba Rocket de la Luna? Explica las medidas de espacio y tiempo desde los dos sistemas de referencia.

Las soluciones están escritas y explicadas también en mi blog TSOR (The Spectrum Of Riemannium):

<http://thespectrumofriemannium.com>

## GUARDIANS OF THE GALAXY AND SPECIAL RELATIVITY

Star-Lord and Rocket Raccoon move towards the brand new hidden and secret base of the team, settled on the dark side of Earth's moon. There, Gamora, Drax The Destroyer and Groot are waiting for them (in rest).

a) If Ship (The Milano in the movie) has a proper length of 40m, find the length of Ship when it approaches to the Moon with speed  $v_S = 0.8c$ , and where Groot, Drax and Gamora are in rest with respect to it.

b) What would be the length of Rocket's vessel as observed from the Moon from the remaining (in rest) Guardians if its proper length is 10m and it moves with speed  $v_R = 0.6c$  towards the moonbase.

c) Find the relative speed of Ship and Rocket's vehicle ( $v_S = 0.8c$ ,  $v_R = 0.6c$ ) in the following cases: 1) they move with the same directions, 2) they move with opposite directions (both towards the Moon, though).

BONUS QUESTION (1) : Star-Lord plays a cassette and sends an electromagnetic signal in that moment, which is monitored by his friends on the Moon. In his reference frame (Star-Lord's clock) the cassette plays for 121 minutes, just the time to arrive to the moonbase ( $v_S = 0.8c$ ). What is the duration of the cassette as observed from the moonbase? What was the initial distance from Star-Lord Ship to the Moon? Explain the different observations, both in space and time, as seen by the two frames.

BONUS QUESTION (2): Rocket decides to make one cool new gadget during his trip to the Moon. He sends an electromagnetic signal to the moonbase, which is monitored by the Guardians on the moonbase, when he begins to make it. In Rocket's reference frame (a clock on his ship), he finishes his brand new laser bazooka in 180 minutes, just when he arrives to the moonbase ( $v_R = 0.6c$ ). How long was he making the cool laser bazooka according to the observers on the moonbase? What was the initial distance of Rocket to the Moon? Explain the different observation, both in space and time, as seen by the two frames.

The solutions are also posted and explained/written on my blog, TSOR (The Spectrum Of Riemannium):

<http://thespectrumofriemannium.com>

Solución/Solution La contracción de longitud implica/Length contraction implies

a)  $L'_S = L_0(\text{Star} - \text{Lord})\sqrt{1 - v_S^2/c^2} = 24m$

Solución/Solution La contracción de longitud implica/Length contraction implies

b)  $L'_R = L_0(\text{Rocket})\sqrt{1 - v_R^2/c^2} = 10m$

Solución/Solution La adición relativista de velocidades implica/Relativistic addition of velocities implies

c) 1)  $V = \frac{v_S - v_R}{1 - \frac{v_S v_R}{c^2}} = 0.38c \approx 0.4c$

Solución/Solution La adición relativista de velocidades implica/Relativistic addition of velocities implies

c) 2)  $V = \frac{v_S + v_R}{1 + \frac{v_S v_R}{c^2}} = 0.54c \approx 0.5c$

EXTRA BONUS/BONUS QUESTION (1):

Proper time ( $\tau$ ) in Special Relativity satisfies/El tiempo propio en relatividad especial satisface

$$\Delta t' = \gamma \tau$$

o bien /or

$$\tau = \int \frac{1}{\gamma} dt$$

and with/y con  $\tau = \Delta t$  and constant speed/y velocidad constante  $v_S = 0.8c$  ( $v_R = 0.6c$ )

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

we get for the Star-Lord cassette (obtenemos para la cassette de Star-Lord)

$$\Delta t_S = \tau_S = 121min, \quad \Delta t'(\text{Moonbase}) = \frac{121}{0.6} \approx 202min$$

and we get for the Rocket Raccoon cool laser bazooka

$$\Delta t_R = \tau_R = 180min, \quad \Delta t' = \frac{180}{0.8} = 225min$$

Distances are relative to the frame, so we have to calculate both, the distances to the moonbase as observed by Star-Lord and Rocket in their respective frames, and those observed by the Guardians at rest on the Moon/Las distancias son relativas al referencial, así que tenemos que calcular ambas, las distancias a la base lunar observadas por Star-Lord y Rocket en sus referenciales, y aquellas observadas por los Guardianes en reposo sobre la Luna

$$\Delta x = v \Delta t$$

$$\Delta x' = v \Delta t'$$

Thus/Así

$$\Delta x(\text{Star} - \text{Lord}) = v_S \Delta t_S = v_S \tau_S = 0.8c \times 121min = 96.8min \cdot c$$

$$\Delta x'(Star - Lord/Moonbase) = \Delta x(Star - Lord)\gamma \approx 161.3min \cdot c$$

EXTRA BONUS/BONUS QUESTION (2):

$$\Delta x(Rocket) = v_R \Delta_R = v_R \tau_R = 0.6c \times 180min = 108min \cdot c$$

$$\Delta x'(Rocket/Moonbase) = \Delta x(Rocket)\gamma = 135min \cdot c$$