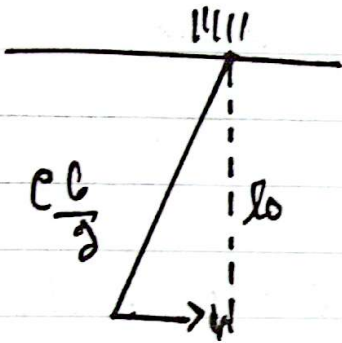


"OPTIKA MODERN"

Tinjau kembali ke pemuaian waktu.
Kasusnya roket bergerak dengan kecepatan v lalu memancarkan cahaya dengan kecepatan c .



$$l_0^2 = \left(c \frac{t}{2}\right)^2 - \left(v \frac{t}{2}\right)^2$$

$$= \frac{t^2}{4} (c^2 - v^2)$$

$$t^2 = \frac{4 l_0^2}{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{4 l_0^2}{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$t = \frac{2 l_0 / c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \text{pemuaian waktu}$$

Syarat-syarat dalam transformasi waktu

- Pengamat diam akan melihat waktu dalam roket mengalami dilatasi
- Gerak relatif antara roket dan pengamat harus konstan
- Kecepatan v harus lebih kecil dari kecepatan cahaya

Contoh soal =

Berapa kecepatan roket jika roket bergerak dengan waktu $t_0 = 3600$ detik dan dalam kerangka diam (bumi) waktu yang terukur adalah $t = 3601$ detik. Berapakah kecepatan v roket tersebut?

Jawab:

Gunakan persamaan dilatasi waktu

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \text{substitusi nilai: } \frac{t_0}{t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{kuadratkan} \\ \text{kedua sisi} \end{array} \right.$$

$$\left(\frac{t_0}{t}\right)^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$v^2 = c^2 \left(1 - \frac{t_0^2}{t^2}\right)$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{3600}{3601}\right)^2}$$

$$= 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{3600}{3601}\right)^2}$$

Efek doppler Relativitas terjadi ketika sumber cahaya atau pengamat bergerak relatif satu sama lain dengan kecepatan mendekati c .

$$f = f_0 \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}$$

Jika sumber mendekati pengamat, frekuensi meningkat dan jika sumber menjauhi pengamat frekuensi menurun.

Efek Dopler Transversal Cahaya

Persamaan Datar :

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

$$t^2 = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

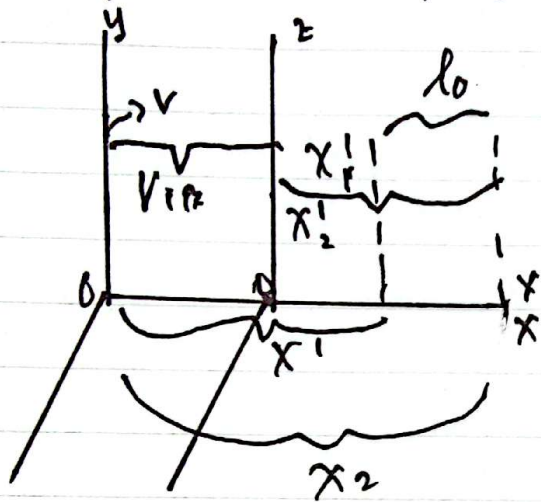
$$f = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Terjadi ketika kecepatan v adalah kecepatan pengamat relatif terhadap sumber cahaya.

Persamaan umum :

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

Benda yang bergerak dengan kecepatan v akan lebih pendek dari panjang mula-mula



$$\begin{aligned} l_0 &= x'_2 - x'_1 \quad \text{dgn transformasi} \\ l &= x_2 - x_1 \quad \text{Lorentz} \end{aligned}$$

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \& \quad x'_2 = \frac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Diperoleh: } x_1 &= vt + x'_1 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \text{sehingga: } l &= l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \end{aligned}$$

$$x_2 - x_1 = (x'_2 - x'_1) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

sehingga

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Pengelesaian masalah:

1. Sebuah roket bergerak dgn kecepatan v , sehingga nampak memendek 2%. Berapa kecepatan roket tersebut?

Pengelesaian:

$$\Delta L = 2\%$$

$$= 0,02$$

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

$$L = (1 - 0,02) l_0$$

$$l_0 = 0,98 l_0$$

$$\text{Jadi: } 0,98 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$(0,98)^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$0,9604 = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - 0,9604 = 0,0396$$

$$v = c \sqrt{0,0396}$$

$$v = c \times 0,199$$

$$v = \frac{0,199}{0,91} \text{ kecepatan cahaya}$$

2) Jarak bumi (12.740 km) & bulan yg bergerak dg $v = 3 \times 10^4 \text{ m/s}$
 Berapakah pendekatan bumi ($L_0 - L$)
 Jawab: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

dimana: $v = 3 \times 10^4 \text{ m/s}$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{(3 \times 10^4)^2}{(3 \times 10^8)^2} = 10^{-8}$$

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

$$\frac{1}{\sqrt{1-x}} = 1 + \frac{1}{2}x$$

$$\gamma = 1 + \frac{1}{2} \times 10^{-8}$$

$$\gamma = 1 + 5 \times 10^{-9}$$

$$L_0 - L = L_0 \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right)$$

$$L_0 - L = L_0 \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right)$$

$$\frac{1}{\gamma} = 1 - \frac{1}{2} \times 10^{-8}$$

γ

$$L_0 - L = 10 \times (1 - (1 - 5 \times 10^{-9}))$$

$$L_0 - L = L_0 \times 5 \times 10^{-9}$$

$$\text{Jikan } L_0 = 12.740 \text{ km} = 1274 \times 10^4 \text{ m}$$

$$L_0 - L = (1.290 \times 10^4) \times (5 \times 10^{-9})$$

$$= 6.37 \times 10^{-2} \text{ m} = 6.37 \text{ cm}$$



3. Diketahui: $l_0 = 1 \text{ m}$

$$v = 0,9c$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{l^2 + L_y^2} \\ &= \sqrt{(0,218)^2 + (0,8666)^2} \\ &= \sqrt{0,0475 + 0,75} = \sqrt{0,7975} = 0,893 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\tan \theta' = \frac{L_y}{L_x} = \frac{0,866}{0,218} = 3,97$$

$$\theta' = (\tan^{-1} 3,97) = 75,7$$

4. a. $V_{\text{total}} = V_{\text{uas}} + V_{\text{penumpang}} = 15 + 2 = 17 \text{ m/s}$

b. $V = \frac{v_1 + v_2}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}$ dengan $v_1 = 15 \text{ m/s}$, $v_2 = 2 \text{ m/s}$
 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$V = \frac{15 + 2}{1 + \frac{(15)(2)}{(3 \times 10^8)^2}} = 17 \text{ m/s}$$

5. a. $V_A = 0,8c$, $V_B = 0,6c$

b. $V' = \frac{v_A - v_B}{1 - \frac{v_A v_B}{c^2}}$

$$= \frac{0,8c - (-0,6c)}{1 - \frac{(0,8c)(-0,6c)}{c^2}}$$

$$= \frac{0,8c + 0,6c}{1 + 0,48} = \frac{1,4c}{1,48} = 0,946 c //$$

c. $V' = \frac{v_B - v_A}{1 - \frac{v_A v_B}{c^2}} = \frac{-0,6c - 0,8c}{1 - \frac{(0,6c)(0,8c)}{c^2}} = \frac{-1,4c}{1,48} = -0,946 c$ (berlawanan)