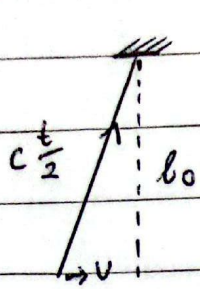


Raket bergerak dalam kecepatan v , lalu menembakkan cahaya dengan kecepatan c , maka:



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

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

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

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

c = selang waktu pada lonceng yang diam relatif terhadap pengamat

t = selang waktu pada lonceng dalam keadaan gerak relatif terhadap pengamat

v = kecepatan gerak relatif (kecepatan raket)

Contoh: Berapa kelajuan raket yang loncengnya berjalan 1 detik terlambat dalam 1 jam relatif terhadap lonceng di bumi.

Diketahui: Lonceng dalam keadaan gerak, berarti $t = 3601$

$t_0 = 3600$ detik, maka:

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

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

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

$$v = c \sqrt{1 - \frac{t_0^2}{t^2}} = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{3600}{3601}\right)^2}$$

Efek Doppler pengamat mendekati sumber, maka:

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

v = kecepatan pengamat

v = kecepatan sumber

Efek Doppler transversal cahaya:

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

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

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

Efek Doppler transversal cahaya

v = kecepatan pengamat

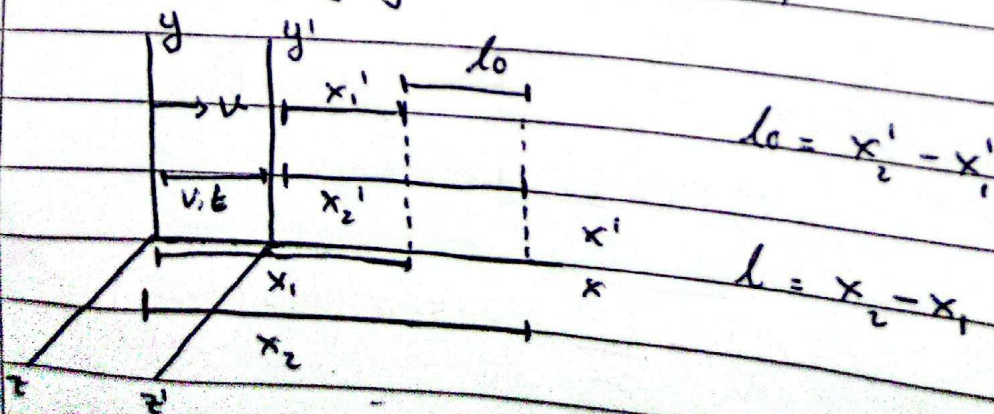
Selanjutnya, secara umum:

$$t = t_0 \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}}$$

→ ulangi kembali efek Doppler

Pengusutan panjang

Benda yang bergerak dengan kecepatan v akan tampak lebih pendek dari panjang mula-mula (l_0)



$$x'_1 = \frac{x_1 - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x'_2 = \frac{x_2 - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= v \cdot t + x'_1 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} & \Rightarrow & x_2 = v \cdot t + x'_2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ x_2 &= v \cdot t + x'_2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} & & x_1 = v \cdot t + x'_1 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \hline x_2 - x_1 &= (x'_2 - x'_1) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \end{aligned}$$

$$x' = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Jadi, akan nampak lebih pendek dari panjang mula-mula jika benda total bergerak dengan kecepatan v .

Masalah:

1. Sebuah roket bergerak dengan kecepatan v sehingga nampak memendek 20%. Berapa kecepatan roket tersebut?
2. Diameter bumi 12,790 km. Bumi mengorbit dengan kecepatan $3 \cdot 10^4$ m/s. Berapa penyusutan bumi ($L_0 - L$) saat itu? Gunakan pembulatan bumi $(1 \pm x)^n = (1 \pm nx)$.
3. Sebuah pipa pvc panjangnya 1m membentuk sudut 60° terhadap sumbu x . Berapa panjang pvc tersebut jika bergerak sepaanjang sumbu x dengan kecepatan 0,9c.

Jawaban

$$1. \text{ Diket: } L = 20\% \Rightarrow L = 0,80 \times L_0$$

$$v = v$$

Dit: v roket?

$$\Rightarrow L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$0,80 \times L_0 = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$0,80 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow (0,80)^2 = \frac{1 - v^2}{c^2}$$

$$0,9609 = \frac{1 - v^2}{c^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - 0,9609 \Rightarrow 0,0396$$

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

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

Jadi, v roket adalah 0,199 c.

2. $l_0 = 12.790 \text{ km} \Rightarrow 1,279 \times 10^7 \text{ m}$

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

$v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$

Dit: $\Delta L \dots ?$

$\Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{2 \times 10^8}{3 \times 10^8} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{2}{3} \right)^2 = \frac{4}{9} = 0,4444$

$L = l_0 \sqrt{1 - 0,4444} \Rightarrow L = l_0 \sqrt{0,5556} \rightarrow 1,279 \times 10^7 \times 0,7459$

$L = 9,49 \times 10^6 \text{ m}$

penyusutan panjang:

$\Delta L = l_0 - L \rightarrow 1,279 \times 10^7 - 9,49 \times 10^6$

$= 3,25 \times 10^6 \text{ m}$

$\Delta L = 3,250 \text{ km}$

3. Diket: $l_0 = 1 \text{ m}$ Dit: $L' \dots ?$

$v = 0,8c$

$\theta = 60^\circ$

$\Rightarrow$ komposisi sejajar sumbu $x = l_x = l_0 \cos \theta = 1 \cos 60^\circ = 0,5 \text{ m}$

tegak lurus sumbu $x = l_y = l_0 \sin \theta = 1 \sin 60^\circ = 0,866 \text{ m}$

konsentrasi pd komposisi sejajar $= l_{x'} = l_x \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$= 0,5 \sqrt{1 - (0,8)^2} \Rightarrow 0,5 \sqrt{1 - 0,64}$

$= 0,5 \sqrt{0,36} \Rightarrow 0,5 \times 0,6$

$= 0,3 \text{ m}$

komposisi tegak lurus (y) tetap $= l_{y'} = 0,866 \text{ m}$

panjang total setelah kontraksi:

$L' = \sqrt{(l_{x'})^2 + (l_{y'})^2} = \sqrt{0,09 + 0,75}$

$= \sqrt{0,84} = 0,916 \text{ m}$

perubahan sudut dari $\theta' : \frac{L_y'}{L_x} = \frac{0,866}{0,5} = 2,007$

$$\theta = \tan^{-1} = 70,9^\circ$$

jadi, panjang batang adalah 0,96 m. sudut batang terhadap sumbu x dari 60° menjadi $70,9^\circ$.

Problem 2

4. Diket : $V_1 = 1,5 \text{ c}$

$$V_2 = 2 \text{ c}$$

Dit : non relatif dan relatif ?

$\Rightarrow$ a). $V = V_1 + V_2$

$$= 1,5 + 2 = 17 \text{ m/p}$$

b). $V = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1 V_2}{c^2}}$

$$= \frac{1,5 + 2}{1 + \frac{1,5 \cdot 2}{(3 \times 10^8)^2}} = 17 \text{ m/p}$$

5. Dik : $V_A = 0,8 \text{ c}$

$$V_B = 0,6 \text{ c}$$

Dit : a, b, c ?

$\Rightarrow$ a) V_A menurut pengamat = $0,8 \text{ c}$

V_B menurut pengamat = $0,6 \text{ c}$

b) V pengamat A menurut B

$$V' = \frac{V_1 - V_2}{1 - \frac{V_A V_B}{c^2}} = \frac{0,8 \text{ c} - (-0,6 \text{ c})}{1 - \frac{(0,8)(0,6)}{c^2}} = \frac{0,8 \text{ c} + 0,6 \text{ c}}{1 + 0,48}$$

$$= \frac{1,4 \text{ c}}{1,48} = 0,946 \text{ c}$$