

Uitwerkingen § 1

Opgave 1

Een inertiaalstelsel is een referentiestelsel waarin de eerste wet van Newton geldt. Anders gezegd: een referentiestelsel dat niet versnelt, vertraagt of roteert.

Een gebeurtenis is een fysische situatie of voorval op één bepaalde plaats en op één bepaald tijdstip.

Een wereldlijn is een lijn in het tijd-plaats-diagram die het verband tussen tijd en plaats van een voorwerp (of iets anders) weergeeft.

Als een stip.

Opgave 2

a. 0 m/s

b. $7/8 \text{ m/s} = 0,875 \text{ m/s}$

c. $-9/3 \text{ m/s} = -3 \text{ m/s}$

Opgave 3

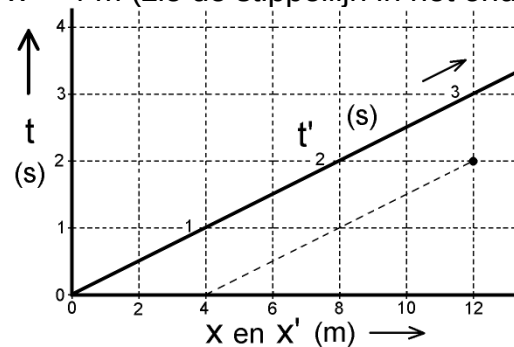
a.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{12 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

b.

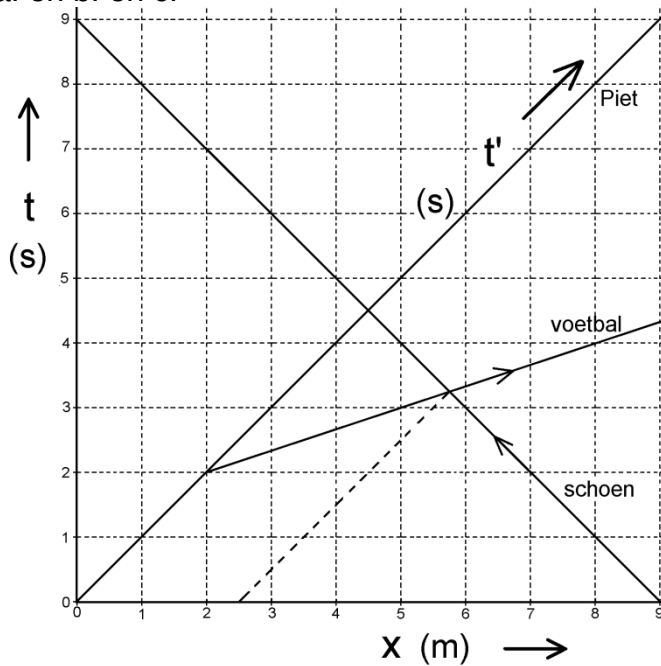
$$t' = 2 \text{ s}$$

$x' = 4 \text{ m}$ (zie de stippellijn in het onderstaande diagram)



Opgave 4

a. en b. en c.

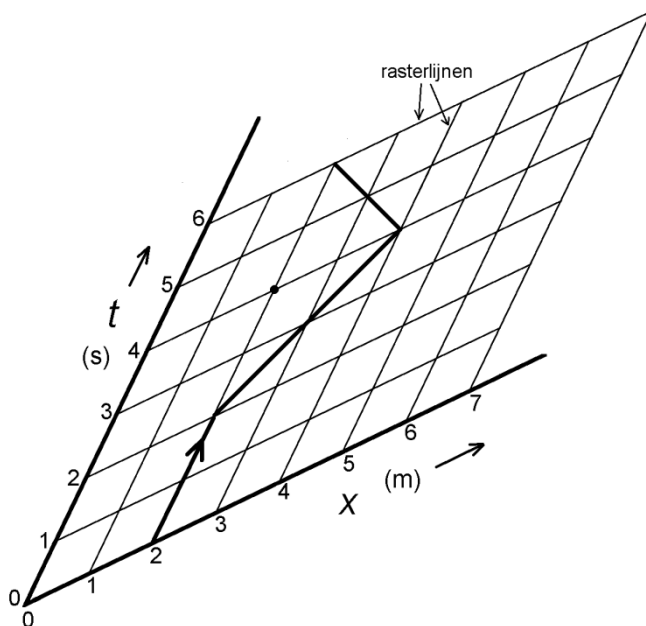


d.

De voetbal en de schoen kruisen elkaar op $x' = 2,5$ m (zie de stippellijn).

Opgave 5

a.



b.

0 m

Uitwerkingen § 2

Opgave 1

- a. Niet waar
- b. Waar
- c. Waar

Opgave 2

a.

$$x' = x - v \cdot t = 40 - 70 \cdot (20/60) = 17 \text{ km}$$

b.

$$x = x' + v \cdot t' = 6 + 70 \cdot (35/60) = 47 \text{ km}$$

Opgave 3

$$x' = x - v \cdot t = 4,4 \text{ ly} - (0,3 \text{ ly/y}) \cdot (5,1 \text{ y}) = 2,9 \text{ ly}$$

Uitwerkingen § 3

Opgave 1

De wetten van de natuurkunde zijn in elk inertiaalstelsel dezelfde.
De lichtsnelheid in vacuüm is in elk inertiaalstelsel gelijk.

Opgave 2

a.

0 m/s

b.

Het foton gaat voor de racefietser ook met de lichtsnelheid.

Opgave 3

$$1\text{s} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1\text{s} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$1\text{y} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Opgave 4

Volgens het eerste postulaat (van de speciale relativiteitstheorie) moeten de natuurwetten in elk inertiaalstelsel gelijk zijn. Omdat de situatie symmetrisch is, moet hetzelfde voor Piet als voor Jan gelden.

Opgave 5

a.

Voor Jan legt het licht van L1 naar hem een even grote weg af als het licht van L2 naar hem.

b.

Voor Sjoerd legt het licht van L2 naar Jan een kortere weg af dan het licht van L1 naar Jan.

Opgave 6

a.

Voor Piet is de door het licht af te leggen afstand (zowel heen als terug) onafhankelijk van de treinsnelheid.

b.

De heenweg voor het licht wordt langer en de terugweg voor het licht wordt korter.
De heenweg duurt dus langer en de terugweg korter.

Opgave 7

a.

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c} = \frac{2 \times 8633}{3,00 \cdot 10^8} = 5,76 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

b.

Eén omwenteling duurt $1 / 12,6 = 0,0794 \text{ s}$.

Eén tand plus één opening duurt $0,0794 / 720 = 0,000110 \text{ s}$.

Eén tand duurt $0,000110 / 2 = 5,51 \cdot 10^{-5} \text{ s}$.

c.

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2 \times 8633}{5,51 \cdot 10^{-5}} = 3,13 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Opgave 8

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2 \times 140 \cdot 10^9}{22 \cdot 60} = 2,12 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

De afwijking met de correcte snelheid is: $\frac{3,00 - 2,12}{3,00} \times 100\% = 29\%$.

Uitwerkingen § 4

Opgave 1

Voor een waarnemer verlopen alle processen in een voor hem bewegend systeem langzamer.

Opgave 2

Voor een waarnemer verlopen alle processen in een voor hem bewegend systeem langzamer.

Opgave 3

a.

Jan ziet beide gebeurtenissen op dezelfde plaats namelijk naast hem.

b.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{55}{\sqrt{1 - 0,80^2}} = 92 \text{ s}$$

Opgave 4

a.

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{0,50}{0,92 \times 3,00 \cdot 10^8} = 0,18 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

b.

$$\Delta t_o = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1,8 \cdot \sqrt{1 - 0,92^2} = 0,71 \text{ ns}$$

Opgave 5

a.

Voor de man in de trein zijn beide gebeurtenissen op dezelfde plaats.

b.

$$\frac{\Delta t}{\Delta t_o} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ wordt } \frac{20}{10} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Hieruit volgt:

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4}$$

$v/c = 0,87$, dus 87%

Opgave 6

a.

A en C.

b.

A en C.

c.

Jan versnelt niet. Jim versnelt bij het begin van zijn reis, vertraagt en versnelt halverwege zijn reis en vertraagt aan het einde van zijn reis.

Opgave 7

a.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2,2 \mu s}{\sqrt{1 - 0,999^2}} = 49 \mu s$$

b.

$$\Delta s = 0,999 \cdot c \cdot \Delta t = 0,999 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \cdot 49 \cdot 10^{-6} = 15 \text{ km}$$

c.

$$\Delta s = 0,999 \cdot c \cdot \Delta t = 0,999 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 6,6 \cdot 10^2 \text{ m}$$

Opgave 8

Een tijdsduur van 1 s voor het atoom correspondeert met een tijdsduur van

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1 \text{ s}}{\sqrt{1 - 0,75^2}} = 1,51 \text{ s} \text{ voor waarnemer W.}$$

De door W waargenomen frequentie is dan $\frac{1,0 \cdot 10^{15}}{1,51} = 0,66 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.

Uitwerkingen § 5

Opgave 1

a.

De piloot is in rust ten opzichte van zijn raket.

b.

$$L = L_o \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 50 \cdot \sqrt{1 - 0,40^2} = 46 \text{ m}$$

c.

$$L = L_o \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ wordt } 40 = 50 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \text{ Hieruit volgt: } v = 0,60 \cdot c.$$

Opgave 2

a.

$$L = L_o \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (10 \text{ km}) \cdot \sqrt{1 - 0,999^2} = 447 \text{ m}$$

b.

Voor het muon beweegt het aardoppervlak naar boven. De afgelegde afstand is:

$$\Delta s = 0,999 \cdot c \cdot \Delta t = 0,999 \cdot 3,00 \cdot 10^8 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 660 \text{ m}$$

Deze afstand is groter dan de dikte van de dampkring.

Opgave 3

Het zit 'm in het feit dat gelijktijdigheid geen absoluut begrip is. Voor waarnemer W' zijn de deuren dus niet op hetzelfde moment gesloten. Eerst wordt de voordeur eventjes gesloten en daarna de achterdeur.

Opgave 4

a.

$$\Delta L = L_o - L = L_o - L_o \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \beta^2\right) = \frac{1}{2} \cdot L_o \cdot \beta^2$$

b.

$$\Delta L = \frac{1}{2} \cdot L_o \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot (5576 \text{ km}) \cdot \left(\frac{600}{3,00 \cdot 10^8}\right)^2 = 11,2 \text{ } \mu\text{m}$$

Opgave 5

Er vindt alleen lengtekrimp in de rijrichting plaats, niet in de breedte of in de hoogte.

Er geldt dan:

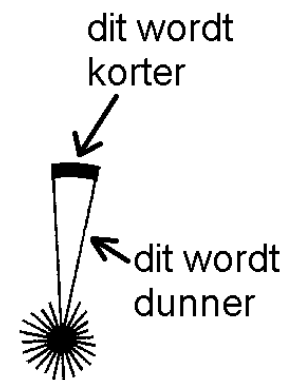
$$L = L_o \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (1 \text{ m}) \cdot \sqrt{1 - 0,90^2} = 0,44 \text{ m}$$

Het volume is dan dus $0,44 \text{ m}^3$.

Opgave 6

In de figuur hiernaast is een bovenste deel van het wiel getekend dat zich tussen twee spaken bevindt. Alles hiervan beweegt naar rechts. De buitenrand wordt dus korter en de spaken worden dunner.

Pi wordt kleiner omdat de omtrek kleiner wordt.



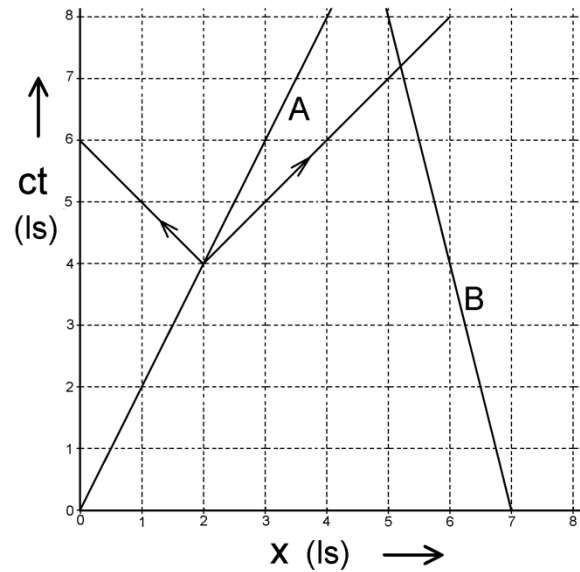
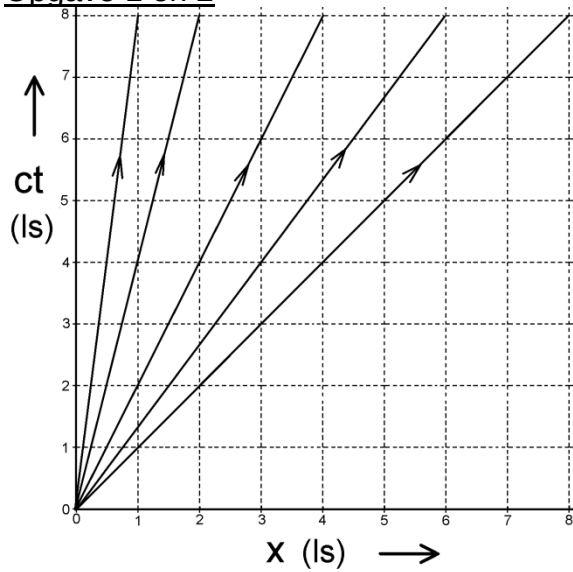
Opgave 7

vrachtwagen geen

tunnel wel

Uitwerkingen § 6

Opgave 1 en 2



Bij opgave 2a: raket A: $0,5 \cdot c$ en raket B: $0,25 \cdot c$ of beter nog $-0,25 \cdot c$.

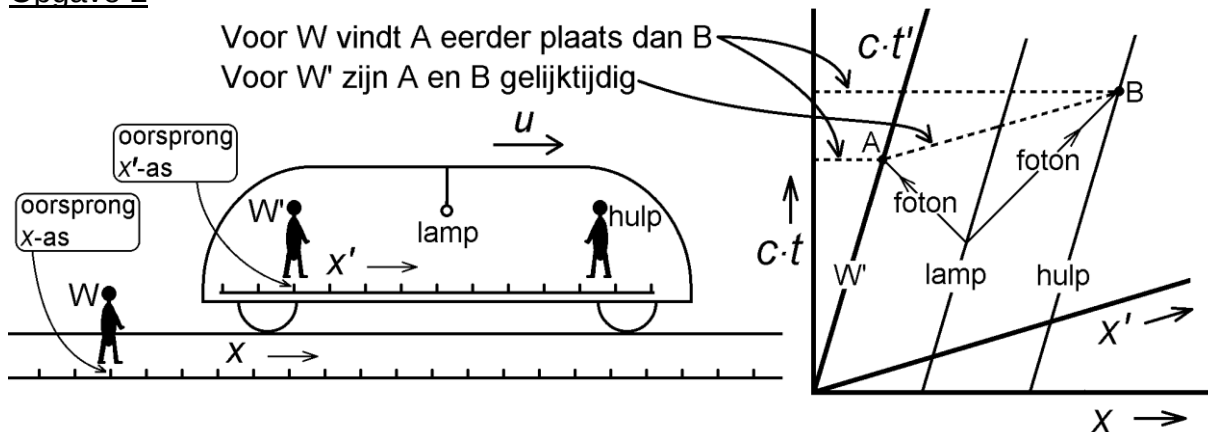
Uitwerkingen § 7

Opgave 1

Volgens waarnemer W: eerst P en dan Q.

Volgens waarnemer W': eerst Q en dan P.

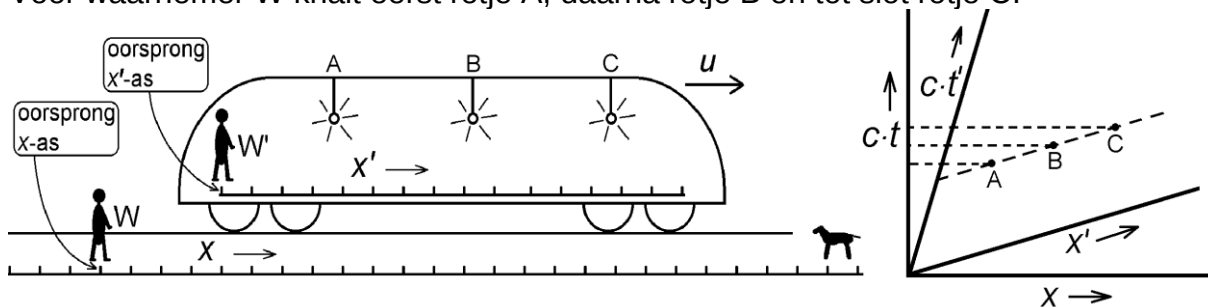
Opgave 2



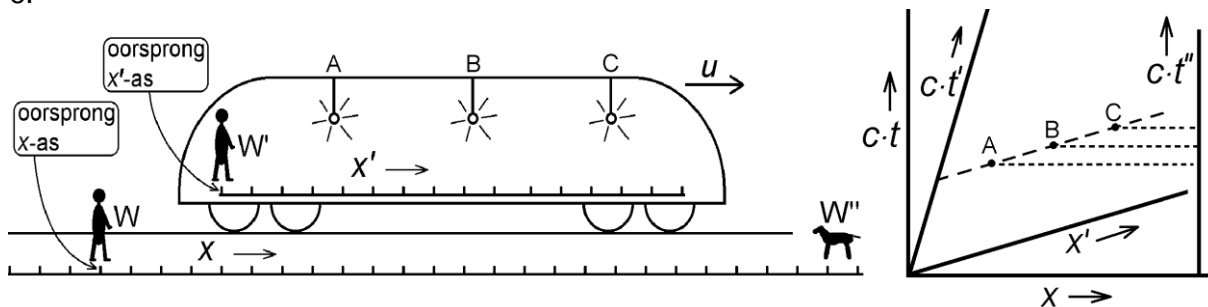
Opgave 3

a. en b.

Voor waarnemer W knalt eerst rotje A, daarna rotje B en tot slot rotje C.



c.



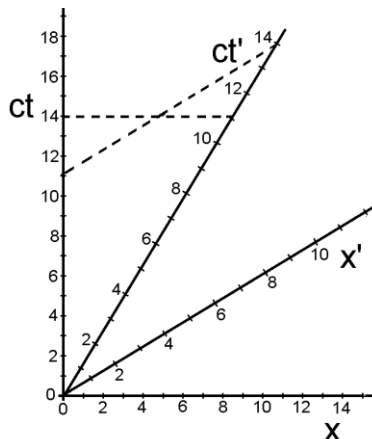
De tijdsvolgorde is voor de hond (W'') en voor waarnemer W gelijk.

Opgave 4

Zie het onderstaande diagram.

- iets meer dan 11 miljard jaar
- iets meer dan 11 miljard jaar

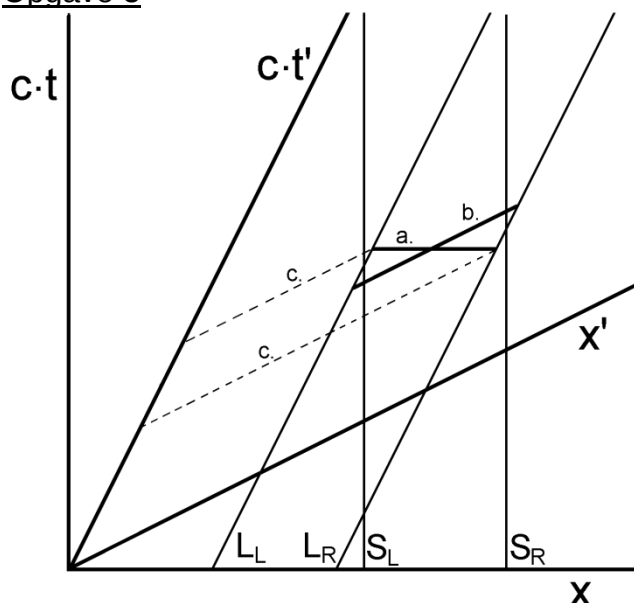
Rechts van het minkowskidiagram is de situatie vlak na de oerknal en de situatie in het heden getekend vanuit het perspectief van ons eigen melkwegstelsel (MWS). Daarbij maken we gebruik van een verre denkbeeldige (onrealistische!) waarnemer die tot hetzelfde inertiaalstelsel behoort als ons MWS.



MWS = ons melkwegstelsel
VSS = vreemde sterrenstelsel

Begin vanuit MWS gezien	Heden vanuit MWS gezien
MWS $t = 0$ VSS $t' = 0$ →	MWS $t = 14$ waarnemer die stilstaat t.o.v MWS $t = 14$ VSS $t' = 11$ →

Opgave 5



Uit de stippellijnen behorend bij opgave c. volgt dat voor waarnemer W' de voorste schuurdeur eerst even dichtgaat en de achterste schuurdeur daarna.

Opgave 6

$$t = \gamma \cdot t' + \beta \gamma \cdot t' = (1 + \beta) \cdot \gamma \cdot t'.$$

Verder geldt:

$$(1 + \beta)\gamma = \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1 + \beta}{\sqrt{(1 + \beta)(1 - \beta)}} = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

Ter informatie nog het volgende.

Uit $f_W = \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} \cdot f_B$ volgt voor de golflengtes van het licht: $\lambda_W = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} \cdot \lambda_B$.

Als β klein is, kan dit vereenvoudigd worden tot $\lambda_W = (1 + \beta) \cdot \lambda_B$.

Voor de golflengteverandering $\Delta\lambda = \lambda_W - \lambda_B$ geldt dan $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_B} = \beta$.

Dat wil zeggen dat de relatieve golflengteverandering gelijk is aan de snelheid van de lichtbron gedeeld door de lichtsnelheid.

Uitwerkingen § 8

Opgave 1

Als waarnemer W' voor waarnemer W in de positieve x -richting beweegt, beweegt waarnemer W voor waarnemer W' in de negatieve x' -richting. Stel bijvoorbeeld dat W en W' ieder in een rijdende trein zitten en dat de trein van W' de trein van W inhaalt. Voor W beweegt de trein van W' dan vooruit en voor W' beweegt de trein van W dan achteruit.

Opgave 2

a.

$$\beta = 0,30$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0,30^2}} = 1,05$$

b.

$$ct' = \gamma \cdot (ct - \beta \cdot x) = 1,05 \cdot (5,1 - 0,30 \cdot 4,4) = 4,0$$

Dus het heeft 4,0 jaar geduurd.

c.

De formule voor de tijdsduurrek kan alleen gebruikt worden als de twee gebeurtenissen (hier: het passeren van de aarde en het afgeven van het signaal door de UFO) voor één van de twee waarnemers op dezelfde locatie plaatsvindt.

d.

$$x' = \gamma \cdot (x - \beta \cdot ct) = 1,05 \cdot (4,4 - 0,30 \cdot 5,1) = 3,0$$

Dus 3,0 lichtjaar verwijderd.

Opgave 3

a.

De hoek is 31° .

b.

$\beta = v/c = \tan(31^\circ) = 0,60$ dus het proton gaat met 60% van de lichtsnelheid.

c.

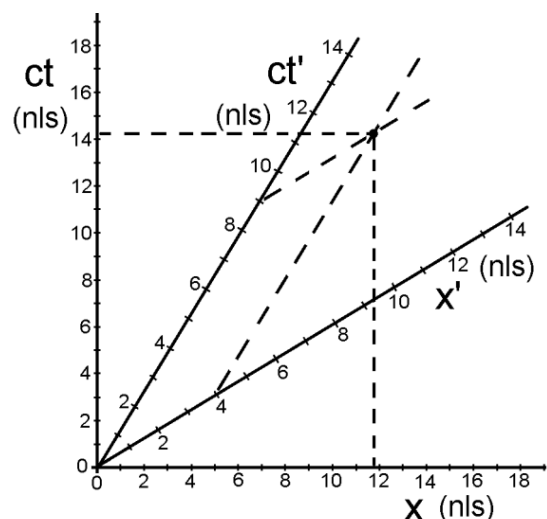
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-0,60^2}} = 1,25$$

d.

$$x = \gamma \cdot (x' + \beta \cdot ct') = 1,25 \cdot (4 + 0,60 \cdot 9) = 11,75$$

$$ct = \gamma \cdot (ct' + \beta \cdot x') = 1,25 \cdot (9 + 0,60 \cdot 4) = 14,25$$

Klopt met het diagram (zie hiernaast).



Opgave 4

a.

$$5,2 + 1,7 = 6,9 \text{ jaar.}$$

b.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0,64^2}} = 1,3$$

c.

$$ct' = \gamma \cdot (ct - \beta \cdot x) = 1,3 \cdot (5,2 - 0,64 \cdot 1,7) = 5,3 \text{ ly}$$

Dus 5,3 jaar.

d.

$$x' = \gamma \cdot (x - \beta \cdot ct) = 1,3 \cdot (1,7 - 0,64 \cdot 5,2) = -2,1 \text{ ly}$$

Dus op 2,1 lichtjaar afstand. Vanwege het minteken van x' vindt de ontplofing achter de raket plaats.

Opgave 5

Zie het diagram hiernaast.

a.

Eerste methode:

Afgelegde afstand is

$$0,50 \times 14 = 7,0 \text{ miljard lichtjaar.}$$

Tweede methode:

Voor de hoek tussen de ct - en ct' geldt: $\alpha = \arctan(0,50) = 26,6^\circ$.

b.

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

wordt:

$$\Delta t' = 14 \cdot \sqrt{1 - 0,50^2} = 12,1$$

Dus 12,1 miljard jaar.

c.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0,50^2}} = 1,155$$

$$ct' = \gamma \cdot (ct - \beta \cdot x)$$

wordt:

$$ct' = 1,155 \cdot (14 - 0,50 \cdot 7,0) = 12,1$$

Dus 12,1 miljard jaar.

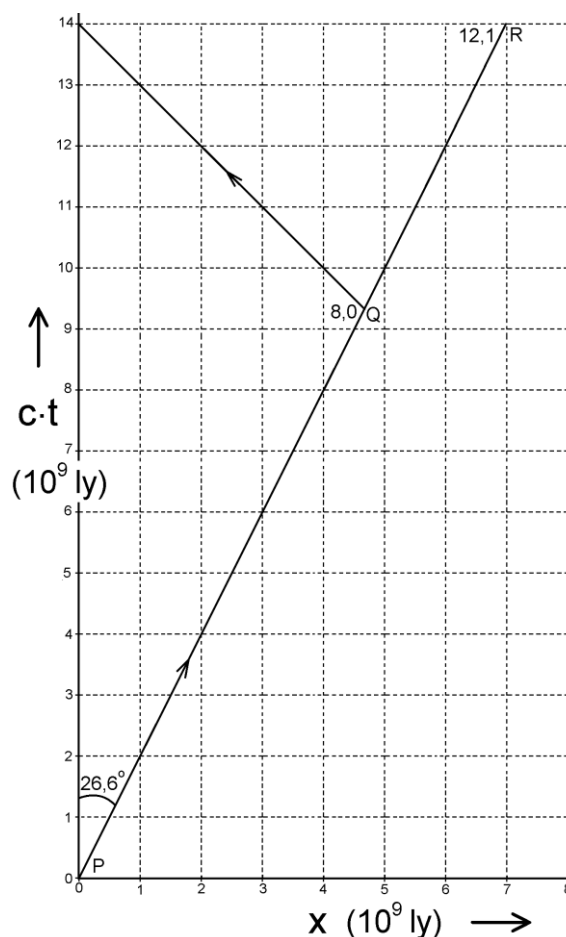
d.

Zie diagram

e.

Lijnstuk PQ is 0,66 keer zo lang als lijnstuk PR (zie het onderstaande diagram).

Het sterrenstelsel is dus $0,66 \times 12,1 = 8,0$ miljard jaar oud.



Uitwerkingen § 9

Opgave 1

a.

$$c^2 \Delta t^2 = 0^2 \quad \Delta x^2 = 20^2 \quad \Delta x'^2 = 30^2$$

b.

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2$$

$$0^2 - 20^2 = c^2 \Delta t'^2 - 30^2$$

$$c^2 \Delta t'^2 = 30^2 - 20^2 = 500$$

$$c \Delta t' = 22 \text{ nls. dus } \Delta t' = 22 \text{ ns.}$$

Opgave 2

a.

Neem de raket als waarnemer W' en de aarde als waarnemer W .

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2$$

$$100^2 - \Delta x^2 = 120^2 - 200^2$$

$$\Delta x = 189 \text{ ls.}$$

b.

Het kwadraat van het ruimtetijdinterval is negatief dus er kan geen oorzakelijk verband tussen beide ontploffingen zijn.

Opgave 3

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2$$

$$1^2 - 0^2 = 2^2 - \Delta x'^2$$

$$\Delta x' = 1,7 \text{ ls}$$

Opgave 4

a.

$$c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2$$

$$60^2 - 40^2 = c^2 \Delta t'^2 - 0^2$$

$$c \Delta t' = 44,7 \text{ nls dus } \Delta t' = 44,7 \text{ ns}$$

b.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{40 \text{ nls}}{60 \text{ ns}} = 0,667 \cdot c. \text{ Bedenk daarbij dat } c = \frac{1 \text{ ls}}{1 \text{ s}} = \frac{1 \text{ nls}}{1 \text{ ns}}.$$

c.

$$\beta = 0,667.$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,667^2}} = 1,34$$

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma} = \frac{60}{1,34} = 44,7 \text{ ns}$$

Opgave 5

Opmerking vooraf: een situatieschets zou handig zijn.

a.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3 \text{ nls}}{7 \text{ ns}} = 0,429 \cdot c$$

b.

$$\Delta t_0 = \sqrt{1 - \beta^2} \cdot \Delta t = \sqrt{1 - 0,429^2} \cdot 7,0 = 6,3 \text{ ns}$$

c.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,429^2}} = 1,107$$

$$ct' = \gamma \cdot (ct - \beta \cdot x) = 1,107 \cdot (7,0 - 0,429 \cdot 3,0) = 6,3 \text{ nls} \quad \text{dus} \quad t' = 6,3 \text{ ns}$$

d.

$$c^2 t^2 - x^2 = c^2 t'^2 - x'^2$$

$$7,0^2 - 3,0^2 = c^2 t'^2 - 0^2$$

$$ct' = 6,3 \text{ nls} \quad \text{dus} \quad t' = 6,3 \text{ ns}$$

Opgave 6

a.

Positief; ja

b.

Negatief; nee

c.

Als de verbindinglijn tussen de twee gebeurtenissen steiler loopt dan de wereldlijn van een foton, kan er wel een causaal verband zijn. Bij minder steil kan het niet.

Opgave 7

a.

Voor W is de sloot in rust.

b.

Voor W' bevinden beide gebeurtenissen zich op dezelfde plaats.

c.

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2} = 1250 \cdot 0,80 = 1000 \text{ nls}$$

d.

$$\Delta t = \frac{L_0}{v} = \frac{1250 \text{ nls}}{0,60 \text{ ls/s}} = 2083 \text{ ns}$$

e.

$$\Delta t_0 = \frac{L}{v} = \frac{1000 \text{ nls}}{0,60 \text{ ls/s}} = 1667 \text{ ns}$$

f.

$$\Delta t_0 = \Delta t \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2} = 2083 \cdot 0,80 = 1667 \text{ ns}$$

g.

$$c\Delta t_0 = \gamma(c\Delta t - \beta L_0) = 1,250 \cdot (2083 - 0,60 \cdot 1250) = 1667 \text{ nls} \rightarrow \Delta t_0 = 1667 \text{ ns}$$

h.

$$c^2 \Delta t_0^2 - 0^2 = c^2 \Delta t^2 - L_0^2 = 2083^2 - 1250^2 \rightarrow c\Delta t_0 = 1667 \text{ nls} \rightarrow \Delta t_0 = 1667 \text{ ns}$$

Uitwerkingen § 10

Opgave 1

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} = \frac{0,4 \cdot c + 0,5 \cdot c}{1 + \frac{0,4 \cdot c \cdot 0,5 \cdot c}{c^2}} = 0,75 \cdot c$$

Opgave 2

a.

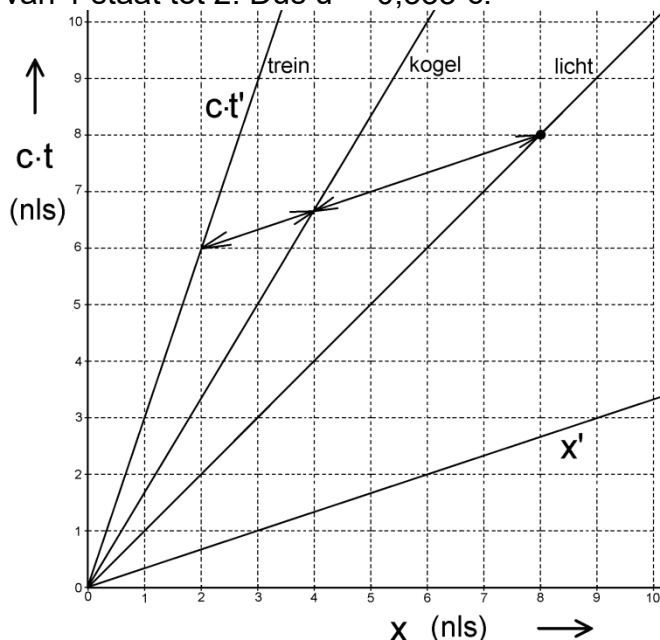
$$v = 0,333 \cdot c$$

b.

$$u = 0,6 \cdot c$$

c.

De twee getekende pijlen in de onderstaande figuur hebben een lengteverhouding van 1 staat tot 2. Dus $u' = 0,333 \cdot c$.



d.

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} = \frac{0,333 \cdot c + 0,333 \cdot c}{1 + \frac{0,333 \cdot c \cdot 0,333 \cdot c}{c^2}} = 0,60 \cdot c$$

Dit antwoord klopt met b.

Opgave 3

Bekijk het vanuit kogel B.

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} = \frac{0,6 \cdot c + 0,7 \cdot c}{1 + \frac{0,6 \cdot c \cdot 0,7 \cdot c}{c^2}} = 0,92 \cdot c$$

Opgave 4

a.

$$v = 4 / 10 = 0,40 \cdot c$$

b.

$$u' = -5 / 6 = -0,83 \cdot c$$

c.

$$u = -6,8 / 10,5 = -0,65 \cdot c$$

d.

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} \text{ wordt } -0,65 \cdot c = \frac{0,40 \cdot c - 0,83 \cdot c}{1 - \frac{0,40 \cdot c \cdot 0,83 \cdot c}{c^2}} \quad \text{Dit klopt!}$$

Opgave 5

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} \text{ wordt } 0,80 \cdot c = \frac{0,40 \cdot c + u'}{1 + \frac{0,40 \cdot c \cdot u'}{c^2}}$$

Vereenvoudiging van de noemer geeft:

$$0,80 \cdot c = \frac{0,40 \cdot c + u'}{1 + \frac{0,40 \cdot u'}{c}}$$

Dit geeft:

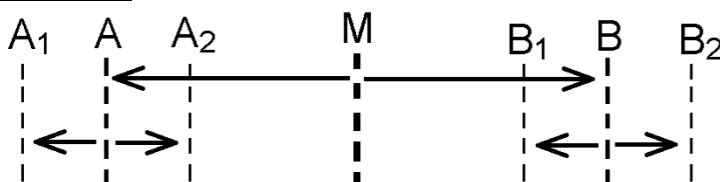
$$0,80 \cdot c + 0,80 \cdot 0,40 \cdot u' = 0,40 \cdot c + u'$$

Hieruit volgt:

$$0,40 \cdot c = 0,68 \cdot u'$$

Uiteindelijk vinden we: $u' = 0,59 \cdot c$.

Opgave 6



A en B komen voort uit M.
 A1 en A2 komen voort uit A.
 B1 en B2 komen voort uit B.

Hieronder wordt niet op het teken van de snelheden gelet.

Stap 1: bereken de snelheid van B2 ten opzichte van M.

Verbind waarnemer W aan M en waarnemer W' aan B.

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} = \frac{0,50 \cdot c + 0,50 \cdot c}{1 + \frac{0,50 \cdot c \cdot 0,50 \cdot c}{c^2}} = 0,80 \cdot c$$

De snelheid van A1 ten opzichte van M (en omgekeerd) is dus ook $0,80 \cdot c$.

Stap 2: bereken de snelheid van B2 ten opzichte van A1.

Verbind waarnemer W aan A1 en waarnemer W' aan M.

$$u = \frac{v + u'}{1 + \frac{v \cdot u'}{c^2}} = \frac{0,80 \cdot c + 0,80 \cdot c}{1 + \frac{0,80 \cdot c \cdot 0,80 \cdot c}{c^2}} = 0,97 \cdot c$$