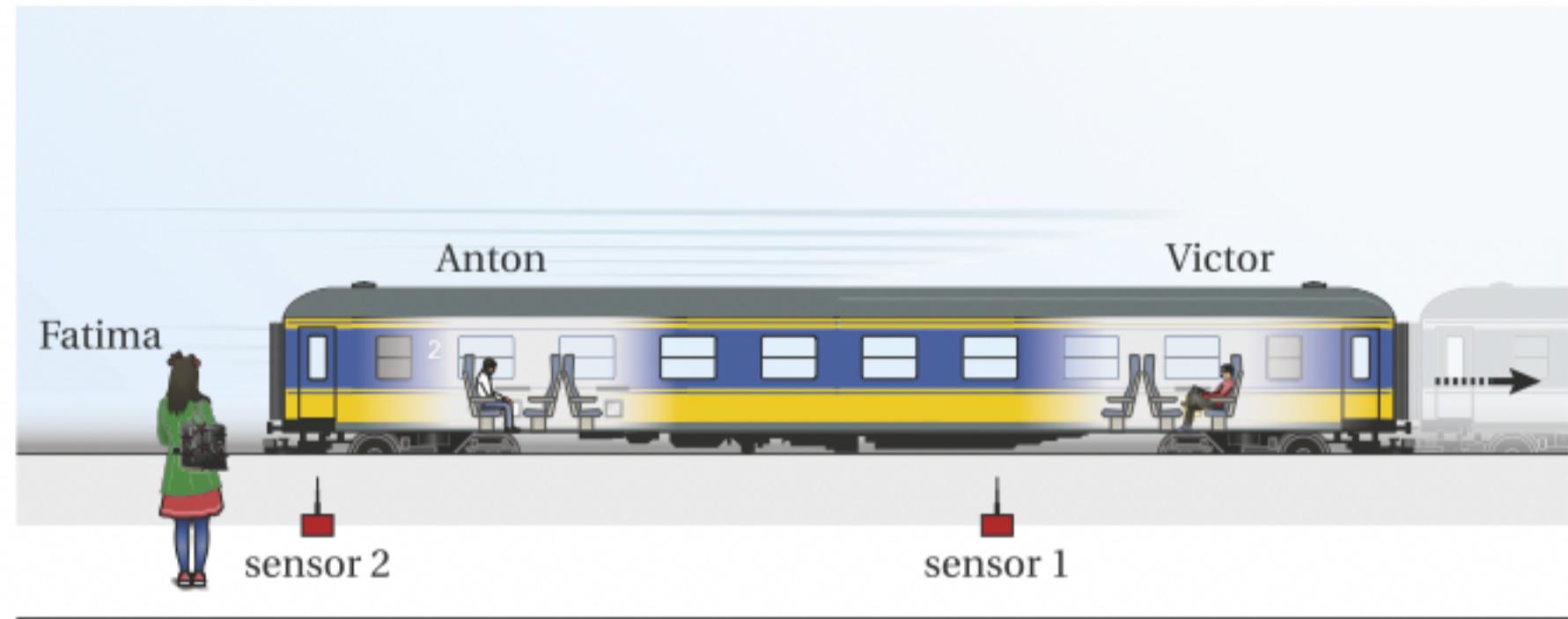


- Hakenblad** 17 Fatima onderzoekt gelijktijdigheid bij een snelle trein. In de wagon zitten Anton en Victor. Victor zit voor in de wagon en Anton zit achterin. Fatima heeft twee sensoren langs het spoor geplaatst. De sensoren registreren het tijdstip waarop Anton of Victor passeert. Fatima staat zelf bij sensor 2. Op  $t = 0$  bereikt Victor sensor 2.

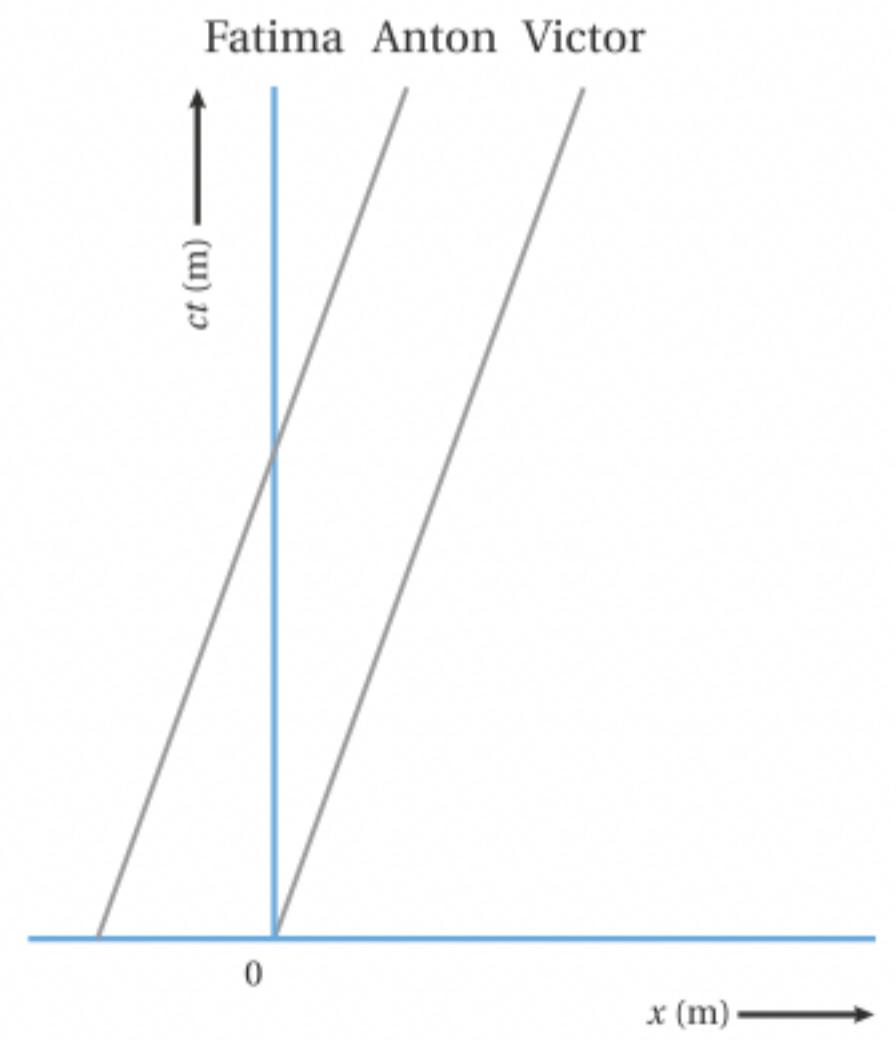
In het referentiestelsel van Fatima blijkt het tijdstip waarop Victor sensor 1 passeert hetzelfde te zijn als het tijdstip waarop Anton sensor 2 passeert. In figuur 41 zie je een schematische weergave van deze situatie in het referentiestelsel van Fatima.



Figuur 41

Figuur 42 is het ruimtetijd-diagram van het referentiestelsel van Fatima, met de wereldlijnen van Anton en Victor.

- Geef in figuur 42 de volgende gebeurtenissen weer:  
A: 'Anton passeert sensor 2'  
B: 'Victor passeert sensor 1'
- Teken in figuur 42 de assen van het referentiestelsel van Victor.
- Toon met behulp van figuur 42 aan dat in het referentiestelsel van Victor het tijdstip waarop Victor sensor 1 passeert, niet gelijk is aan tijdstip A' waarop Anton sensor 2 passeert.



Figuur 42

Als de wagon stilstaat, dan is de afstand tussen Anton en Victor groter dan de afstand tussen de twee sensoren.

- Leg dit uit.

De snelste treinen halen slechts een snelheid van  $430 \text{ km h}^{-1}$ .

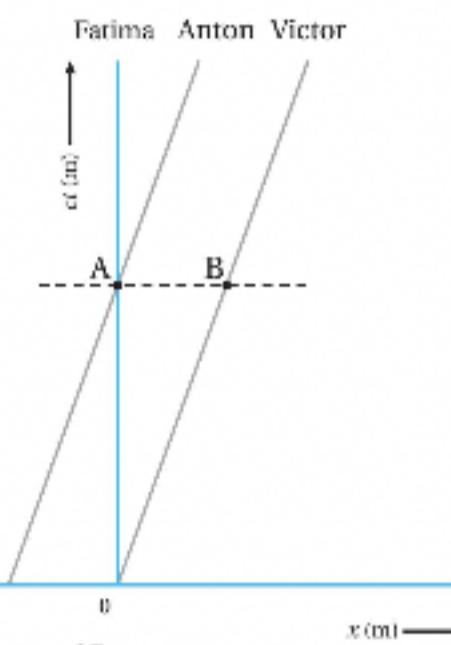
- Leg uit waarom de gebeurtenissen A' en B dan vrijwel samenvallen in het stelsel van Victor.

### Opgave 17

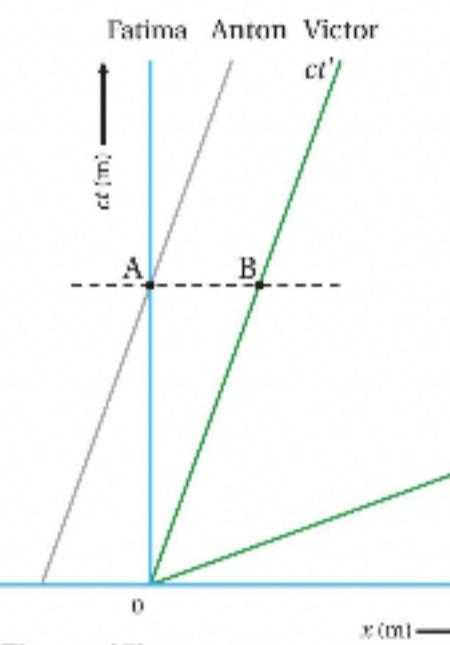
- Zie figuur 15a.

#### Toelichting

Voor gebeurtenis A geldt  $x = 0$ , want het valt samen met de plaats van Fatima. Dus A ligt op het snijpunt van de  $ct$ -as en is wereldlijn 'Anton'. Gebeurtenis B is in het stelsel van Fatima gelijktijdig met A, dus ligt B op de lijn door A evenwijdig aan de  $x$ -as.



Figuur 15a



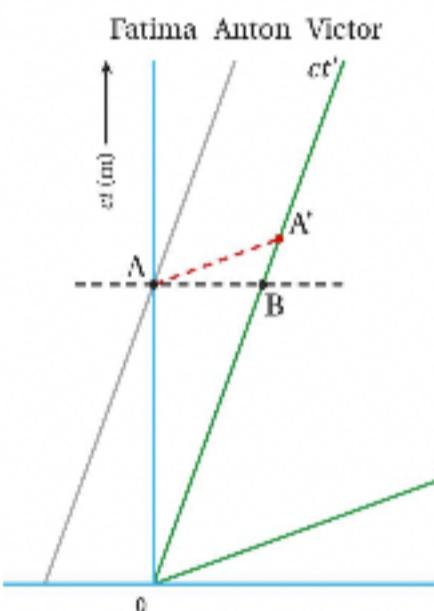
Figuur 15b

- Zie figuur 15b.

#### Toelichting

De  $ct$ -as van het stelsel van Victor valt samen met de wereldlijn van Victor. De hoek tussen  $ct'$  en  $ct$  is even groot als de hoek tussen  $x'$  en  $x$ .

- Zie figuur 15c.



Figuur 15c

#### Toelichting

Gebeurtenissen die in het referentiestelsel van Victor gelijktijdig zijn, liggen op lijnen evenwijdig met zijn  $x$ -as. De lijn AA' loopt evenwijdig aan de  $x$ -as. Gebeurtenis A is het

© ThiemeMeulenhoff bv

Pagina 18 van 35

moment waarop Anton sensor 2 passeert. Victor zal zeggen dat gebeurtenis A gelijktijdig plaatsvindt met gebeurtenis A'. Dus in het stelsel van Victor vindt gebeurtenis B eerder plaats dan gebeurtenis A.

- In het referentiestelsel van Fatima is de afstand tussen de sensoren even groot als de afstand tussen Anton en Victor. De trein beweegt echter ten opzichte van Fatima. Er is dan sprake van lengtekrimp. Volgens Fatima is dus de afstand tussen Anton en Victor tijdens de beweging van de trein kleiner dan bij stilstand van de trein.
- De snelheid van  $430 \text{ km h}^{-1}$  is veel kleiner dan de lichtsnelheid. In dat geval is de hoek tussen de twee ruimteassen  $x$  en  $x'$  kleiner dan tienduizendste graad. De  $ct$ -as van Victor loopt dan vrijwel verticaal. De gebeurtenissen A' en B vallen dan vrijwel samen en dan is het verschil in gelijktijdigheid dus verwaarloosbaar klein.