

# Speciale Relativiteit in de klas - Docentenhandleiding

Lesmateriaal ontwikkeld tijdens het promotieonderzoek van Floor Kamphorst, in samenwerking met Paul Alstein, Jan Dentener, Stefan van Dijk, Gerhard van Hunnik, Bart avn de Laar, Sjaak Meertens, Johanna Phaf-Novozamsky, Marianne Verhaart, Bastiaan Vinke, Tienke de Vries en Nathalie van der Weide.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Bron afbeelding: pixabay.com



## 8. Met welke formule kunnen we de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 1 uitdrukken in de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 2?

### Beginsituatie

In de vorige activiteit hebben leerlingen geredeneerd met de tijdsduur tussen twee gebeurtenissen ten opzichte van twee onderzoekers. Daarbij zijn leerlingen ingegaan op de invloed van de relatieve snelheid tussen de twee onderzoekers. Leerlingen kunnen eigen tijd en gedilateerde tijd identificeren (welke onderzoeker wat meet). De vraag die deze activiteit heeft opgeroepen is of er ook een meer precies verband tussen deze twee tijdsduren gevonden kan worden.

### Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Kunnen we het tijdsinterval tussen twee gebeurtenissen voor een onderzoeker die naar een bewegend proces kijkt, uitdrukken in het tijdsinterval tussen dezelfde twee gebeurtenissen voor een onderzoeker die naar dit proces kijkt terwijl het stilstaat?'. Aan het eind van deze les kan je de formule afleiden waarmee tijdsintervallen tussen twee gebeurtenissen ten opzichte van verschillende onderzoekers in elkaar omgerekend worden. Daarnaast weet je hoe je deze formule moet toepassen en kan je daar berekeningen mee doen.

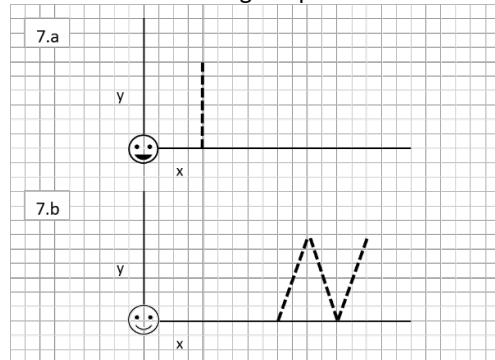
### Activiteiten en docenthandelen

#### Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden

De docent herhaalt de beginsituatie en scherpt de vraag die vorige les is opgeroepen verder aan:  
*Kunnen we het tijdsinterval tussen twee gebeurtenissen voor een onderzoeker die naar een bewegend proces kijkt, uitdrukken in het tijdsinterval tussen dezelfde twee gebeurtenissen voor een onderzoeker die naar dit proces kijkt terwijl het stilstaat?*

*De docent benoemt hier expliciet dat het gaat over de tijdsduur van een proces dat wordt bekeken door een onderzoeker die kijkt naar een stilstaand proces of een proces dat beweegt.*

De docent laat leerlingen opdracht 8.1 maken.



Docent geeft de juiste antwoorden.

### Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)

#### Mogelijke uitkomsten

- Leerlingen gebruiken een lineaal om de afstand te meten, en delen de afstand door de lengte van 3 hokjes om tot het aantal tijdstapjes te komen.
- Leerlingen gebruiken Pythagoras.

- $t_A = 4$  tijdstapjes
- $t_B = 4,2$  tijdstapjes



<p>De docent stelt de vraag of er een algemene oplossing gevonden kan worden voor dit vraagstuk. De docent geeft de opzet van de afleiding (PPT).</p> <p>De docent geeft de eerste ingrediënten van de afleiding.</p> <p>De docent geeft leerlingen de vorm van de gewenste uitkomst:  <math>\Delta t_b = \text{iets} * \Delta t_g</math></p> <p>Leerlingen leiden vervolgens zelf de formule voor tijdrek af. (Opdracht 8.2)</p> <p>De docent geeft het eindresultaat van de afleiding. (<a href="https://www.youtube.com/watch?v=HXalMYUeaPA">https://www.youtube.com/watch?v=HXalMYUeaPA</a>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leerlingen hebben mogelijk moeite met het netjes uitwerken van de afleiding;</li> </ul> <p>NB: Het kan zijn dat leerlingen het eerdere antwoord gaan narekenen met de formule. De resultaten van de formule/algemene oplossing en de particuliere berekening met Pythagoras zijn niet exact gelijk. Dat komt doordat gebeurtenisdiagrammen geen rekening houden met lengtekrimp. Als een leerling hiermee aan komt zetten, is dit een aanleiding om dat concept ook te introduceren. (Evt nav <math>c=s/t</math>, <math>t</math> niet meer gelijk, dan moet er ook iets met afstand aan de hand zijn.)</p>
<p><b>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</b></p> <p>De docent herhaalt de (kwalitatieve) eigenschappen waar de formule aan moet voldoen.</p> <p>De docent laat leerlingen vervolgens de volgende reflectievragen beantwoorden (Opdracht 8.3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voldoet de gevonden formule aan deze voorwaarden?</li> <li>• Wat betekent dit voor de tijdsduur van een proces?</li> </ul>	<p><b>Mogelijke denkbelden van leerlingen</b></p>
<p><b>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</b></p> <p>De docent haalt verschillende leerlingantwoorden naar voren.</p> <p>De docent bevestigt dat de formule inderdaad oplevert wat van tevoren verwacht werd.</p> <p>De docent besteed aandacht aan hoe de formule toegepast moet worden (hoe bepalen of je naar een stilstaand proces kijkt.)</p>	<p><b>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</b></p>



**Fase 4: Consolideren**

De docent vat nogmaals samen wat de activiteit heeft opgeleverd. De docent herhaalt de procedure hoe leerlingen kunnen bepalen welke onderzoeker de eigen tijd meet en welke onderzoeker een tijdsinterval meet van een proces in een bewegend referentiekader.

Docent herhaalt dat dit een algemeen principe is/onderzoekers kunnen van rol wisselen.  
De docent roept een nieuwe vraag op: er zijn heel veel grootheden die afhangen van de waarnemer. Kan je nog bepalen of je beweegt of stilstaat?  
Leerlingen maken consolidatieopdrachten 8.4 t/m 8.6

***Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...***

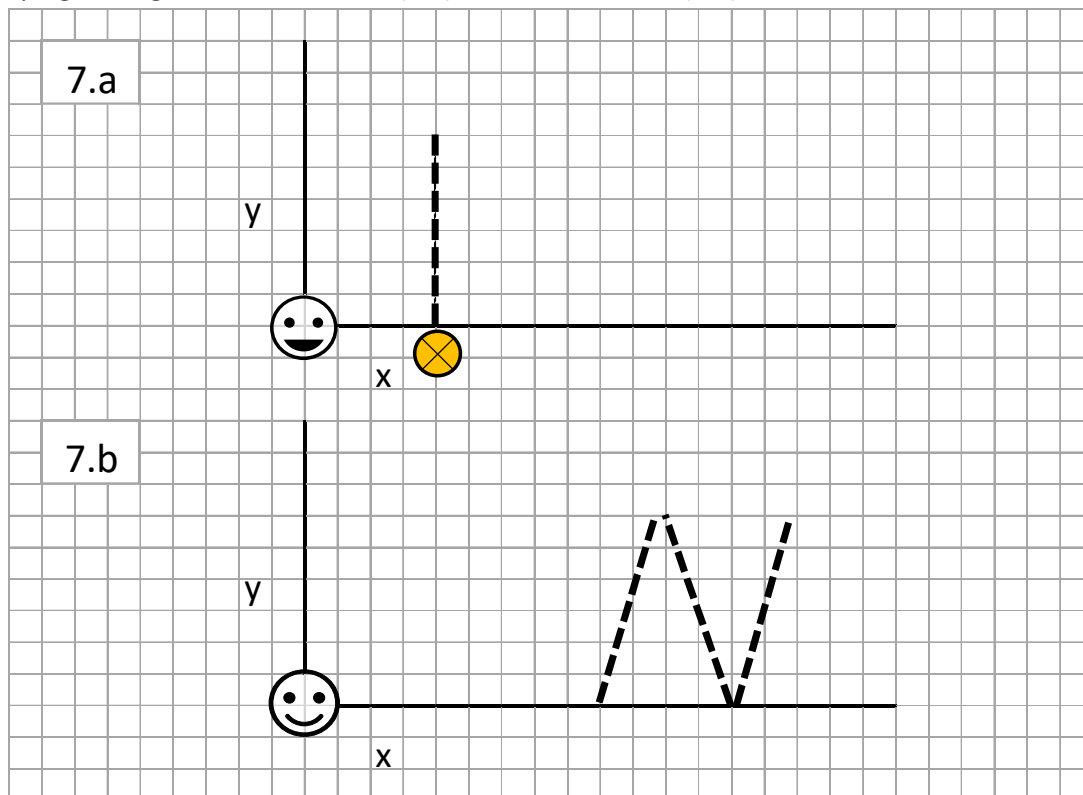
## Leerlingenboekje ‘8. Met welke formule kunnen we de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 1 uitdrukken in de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 2?’

### Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag ‘Kunnen we het tijdsinterval tussen twee gebeurtenissen voor een onderzoeker die naar een bewegend proces kijkt, uitdrukken in het tijdsinterval tussen dezelfde twee gebeurtenissen voor een onderzoeker die naar dit proces kijkt terwijl het stilstaat?’. Aan het eind van deze les kan je de formule afleiden waarmee tijdsintervallen tussen twee gebeurtenissen ten opzichte van verschillende onderzoekers in elkaar omgerekend worden. Daarnaast weet je hoe je deze formule moet toepassen en kan je daar berekeningen mee doen.

### Opdracht 8.1: Redeneeropdracht

In onderstaande figuur is het traject weergegeven dat het licht aflegt tussen de twee spiegels volgens onderzoeker A (7.a) en onderzoeker B (7.b).



Het licht heeft in deze diagrammen opnieuw een snelheid van 3 hokjes per tijdstapje.

1. Bereken de tijd die het licht volgens onderzoeker A nodig heeft om 1 keer op en neer te kaatsen.
2. Bereken de tijd die het licht volgens onderzoeker B nodig heeft om 1 keer op en neer te kaatsen.



### Opdracht 8.2: Redeneeropdracht

$\Delta t_e$  is het tijdsinterval tussen twee gebeurtenissen (G1 en G2) die ten opzichte van de onderzoeker dezelfde positie hebben.

$\Delta t_b$  is het tijdsinterval tussen (dezelfde) twee gebeurtenissen die ten opzichte van de onderzoeker niet dezelfde positie hebben.

1. Vind een formule waarin je  $\Delta t_b$  uitdrukt in  $\Delta t_e$ , van de volgende vorm:  $\Delta t_b = \text{iets} \cdot \Delta t_e$

### Opdracht 8.3: Reflectieopdracht

1. Voldoet de gevonden formule aan deze voorwaarden?
2. Wat betekent dit voor de tijdsduur van een proces?

### Opdracht 8.4: Verwerkingsopdracht

Geef bij onderstaande beschrijvingen steeds aan welke onderzoeker een tijdsinterval in het eigen stelsel van het proces bepaalt en welke onderzoeker naar een bewegend proces kijkt.

1. Hilde bestuurt in een ruimteschip. Charles houdt de wacht in een ruimtestation. Charles stuurt Hilde een lichtflits en een tijdje later nog een. Wat is de tijdsduur tussen het verzenden van de twee lichtflitsen?
2. In een supersnel ( $0,3 \cdot c$ ) rijdende trein gooit Lisa een balletje op dat ze vervolgens weer opvangt. Klaas ziet dit vanaf het perron met lede ogen aan. Wat is het tijdsinterval tussen het opgooien en weer vangen van het balletje?
3. Een kosmisch muon wordt gevormd in de bovenste regionen van onze dampkring. Op het aardoppervlak wordt het muon vervolgens gedetecteerd. Wat is de tijdsduur tussen het ontstaan en het detecteren van het muon?

### Opdracht 8.5: Verwerkingsopdracht

Deze opdracht gaat verder op de situaties beschreven in opdracht 8.2. In onderstaande opdrachten is steeds voor één onderzoeker gegeven welk tijdsinterval wordt gemeten. Bereken het tijdsinterval voor de andere onderzoeker.

1. Hilde ziet Charles met een snelheid van  $0,59 \cdot c$  aan zich voorbij trekken. Hilde compenseert voor de tijd dat de lichtflitsen naar haar onderweg zijn en concludeert dat Charles de flitsen met een tussenpoos van 4,00 seconde moet hebben verzonden. Welke tijdsduur zal Charles meten?
2. Lisa zegt dat het balletje 1,3 seconde onderweg is. Wat zegt Klaas?
3. Kosmische muonen bewegen met een snelheid van  $0,997 \cdot c$  door de dampkring. Normaal gesproken vervalt een muon na  $2,10 \mu\text{s}$ . Hoe lang zit er volgens een onderzoeker op aarde maximaal tussen het ontstaan van een muon en het detecteren daarvan?
4. Hoeveel meter dampkring kan het muon passeren in zijn eigen stelsel?
5. Hoe groot is de afstand die een muon volgens een onderzoeker op aarde aflegt?



**Opdracht 8.6: Beantwoorden lesvraag**

1. Geef een antwoord op de lesvraag: Met welke formule kunnen we de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 1 uitdrukken in de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 2?



## 9. Kan je nog bepalen of je beweegt?

<b>Beginsituatie</b> Leerlingen zijn bekend met het lichtpostulaat en tijdrek.	
<b>Doel</b> In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Kan je nog bepalen of je beweegt?'. Aan het eind van deze les kan je de vaardigheden die je in de afgelopen lessen hebt geleerd toepassen om na te denken over de lesvraag.	
<b>Activiteiten en docenthandelen</b>	<b>Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)</b>
<b>Fase 1 A: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</b>  Docent stelt de vraag: We zijn ontvoerd door aliens en zitten in een ruimteschip heel erg ver van alle andere planeten en sterren. Zo ver weg dat we geen zwaartekracht voelen, en geen beweging zien in de zichtbare sterren. Kunnen wij er achter komen of wij nog in beweging zijn?  De docent geeft leerlingen in groepjes van 4 de volgende opdracht: Probeer met jullie kennis van natuurkunde een experiment te bedenken dat antwoord geeft op de vraag of we bewegen of niet  (10 minuten)	<b>Mogelijke uitkomsten</b>
<b>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</b>  De docent haalt suggesties van verschillende groepjes naar voren. Als leerlingen met een goede, maar verder niet haalbare suggestie komen, gaat de docent hier inhoudelijk op in. Daarmee werkt de docent naar de conclusie toe dat geen enkel experiment uitsluitend kan geven over de bewegingstoestand van het ruimteschip. (2a)	<b>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</b>





<p><b>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</b></p> <p>De docent introduceert nieuwe informatie: Zelf komen we er niet uit of we bewegen. Maar gelukkig zien we op dit moment een ander ruimteschip met constante snelheid naderen. We zenden een noodsignaal in morse, en krijgen wel een signaal terug, maar duidelijk in een onbekende code. (we kunnen dus niet met woorden communiceren). Kan dit ons helpen om onze vraag te beantwoorden? Bewegen wij, of niet? (3a)</p> <p>De docent geeft leerlingen in groepjes van 4 de volgende opdracht: Kan je met deze extra informatie bepalen of de raket beweegt? (1b) (7 minuten)</p> <p>De docent haalt suggesties van verschillende groepjes naar voren. Als leerlingen met een goede, maar verder niet haalbare suggestie komen, gaat de docent hier inhoudelijk op in. Daarmee werkt de docent naar de conclusie toe dat met deze extra informatie geen uitsluitel kan worden gegeven of de raket nu beweegt. (Alleen dat de raketten ten opzichte van elkaar bewegen.) (2b)</p> <p>De docent introduceert nieuwe informatie: We krijgen een boodschap van aarde binnen: “we hebben twee ruimteschepen in beeld met onze supertelescoop, maar zijn jullie het stilstaande of het bewegende ruimteschip?” Daarna valt de verbinding helaas onherstelbaar uit.</p> <p>De docent geeft leerlingen in groepjes van 4 de volgende opdracht: Kan je met deze extra informatie bepalen of de raket beweegt? (1c) (7 minuten)</p> <p>De docent haalt suggesties van verschillende groepjes naar voren. Als leerlingen met een goede, maar verder niet haalbare suggestie komen, gaat de docent hier inhoudelijk op in. Daarmee werkt de docent naar de conclusie toe dat ook met deze extra informatie geen uitsluitel kan worden gegeven of de raket nu beweegt. (Alleen dat de raketten ten opzichte van elkaar bewegen.) (2c)</p>	<p><b>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</b></p>
--	---



**Fase 4: Consolideren**

De docent benoemt het relativiteitspostulaat: Er is geen meetprocedure waarmee bepaald kan worden of je in beweging bent of in rust. Dat betekent dat dit eigenlijk hetzelfde is: beweging kan je alleen bepalen ten opzichte van iets anders.

Deze les kan als toetsing dienen, dat de snelheid altijd ten opzichte van iets anders is.

***Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...***



## **Leerlingenboekje 9. Wat betekent dit allemaal voor metingen in de natuurkunde?**

### **Doel**

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Kan je nog bepalen of je beweegt?'. Aan het eind van deze les kan je de vaardigheden die je in de afgelopen lessen hebt geleerd toepassen om na te denken over de lesvraag.

### **Opdracht 9.1: Beantwoorden lesvraag**

1. Geef een antwoord op de lesvraag: Wat betekent dit allemaal voor metingen in de natuurkunde?