



# Ondersteunende presentaties bij lesmateriaal relativiteit in de klas

# 1. Hoe kan je beweging beschrijven?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



Hoe kan je beweging beschrijven?

---

*Aan het eind van deze les kan je redeneren met beweging. Ook kan je die redeneervaardigheid toepassen in diagrammen om zo de positie en het tijdstip van een gebeurtenis te bepalen.*



# Beweging: Mythbusters

---

- <https://www.youtube.com/watch?v=ZH7GpYJoptU>
- 2 gebeurtenissen:
  - Bal verlaat de loop van het kanon
  - Bal raakt de grond
- 2 cameraposities:
  - Op de grond
  - Op de truck
- Beschrijf vanuit beide cameraposities met de positie van de gebeurtenissen, de afstand tussen de gebeurtenissen en het tijdsinterval tussen de twee gebeurtenissen.



# Introductie Diagrammen

---

- Diagram 1.a

*Je ziet de positie van de onderzoekers en de auto weergegeven op opeenvolgende tijdstapjes. De tijdstapjes zijn steeds even groot.*

- Bepaal de snelheid van de auto
- Bepaal de positie van gebeurtenis 1 ten opzichte van de onderzoeker op de grond.

- Opdracht 1.1; diagram 1.a en 1.b


*Een bal wordt afgeschoten (gebeurtenis 1) vanaf een rijdende truck. Op de grond kijkt iemand toe. De bal wordt in horizontale richting afgeschoten, maar zal natuurlijk ook naar beneden versnellen en op een gegeven moment op de grond terecht komen (gebeurtenis 2).*

*De verticale versnelling benaderen we met een eenparige beweging: de bal valt met een snelheid van 1 hokje per tijdstapje naar beneden*




# Nakijken Opdracht 1.1

2.  $t=0$ , bal wordt afgeschoten

3a. 5 hokjes rechts van 

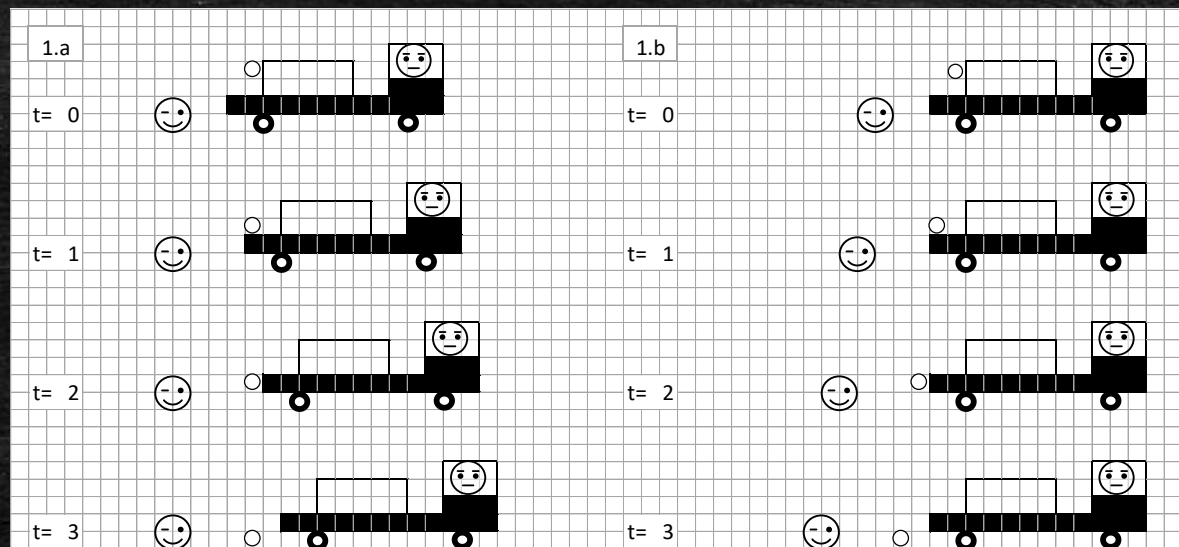
3b. 8 hokjes links van 

4a. 5 hokjes rechts van 

4b. 12 hokjes links van 

5a.  $v=0$  hokjes per tijdstapje

5b.  $v=1$  hokje per tijdstapje





# Reflectie-opdracht

---

1. Wat is voor beide camera's hetzelfde?
2. Wat is voor beide camera's verschillend?
3. Maak opdracht 1.2.



# Nakijken Opdracht 1.2

---

1. De positie van gebeurtenis 2 verschilt voor beide cameraposities.
2. Vanaf de grond: horizontale snelheid is gelijk aan 0 hokjes per tijdstapje;  
Vanaf de truck: de horizontale snelheid is gelijk aan 1 hokje per tijdstapje.
3. Het tijdstip van de gebeurtenissen is gelijk voor beide cameraposities.



## Hoe kan je beweging beschrijven?

---

*De gebeurtenissen zijn ten opzichte van beide camera's hetzelfde; algemeen: gebeurtenissen gebeuren voor iedereen. De positie van een gebeurtenis hangt af van de camerapositie; algemeen: camerapositie heeft invloed op de waarden van grootheden. Snelheid is relatief (altijd ten opzichte van...).*

## Hoe beweegt licht?



# Hoe beweegt licht?

---

- Extra oefenen: Opdracht 1.3 t/m 1.7



# 2. Hoe beweegt licht?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Hoe beweegt licht?

---

We weten al....

- Voor 2 waarnemers (die ten opzichte van elkaar bewegen):
  - Vinden gebeurtenissen voor beiden plaats
  - Verschilt de snelheid van objecten
  - Verschilt (mogelijk) de positie van objecten of gebeurtenissen



## Hoe beweegt licht?

---

*Aan het eind van deze les kan je in diagrammen redeneren met het voortbewegen van licht. Ook kan je die redeneervaardigheid toepassen in diagrammen om zo het tijdstip van een gebeurtenis te bepalen.*



# Voortbewegen licht in diagram

---

- Opdracht 2.1; diagram 2.a, 2.b en 2.c

*In deze taak bekijken we een kamer met aan de zijkant twee deuren. In het midden van de kamer hangt een lamp en een onderzoeker bevindt zich ergens in of in de buurt van de kamer. De lamp zendt op tijdstip  $t_0$  een korte lichtflits uit en gaat daarna weer uit.*

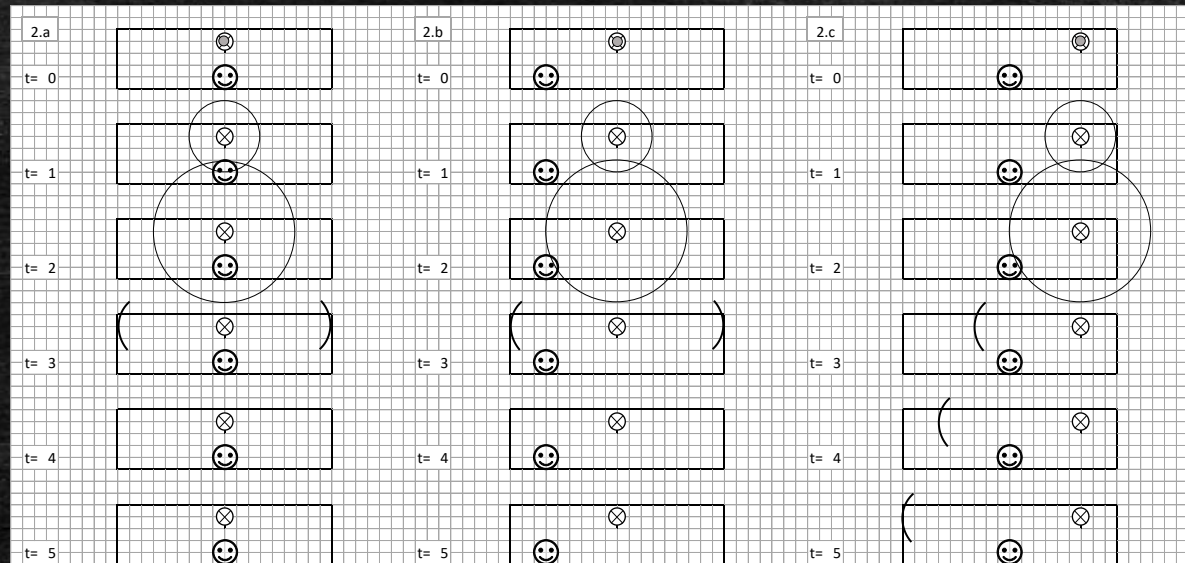
*Je tekent zelf het licht dat door de lamp wordt uitgezonden in de diagram. Het licht verplaatst zich met drie hokjes per tijdstapje.*

1. Bepaal bij alle diagrammen (2.a, 2.b en 2.c) op welk tijdstip het licht bij de muren van de kamer aankomt.



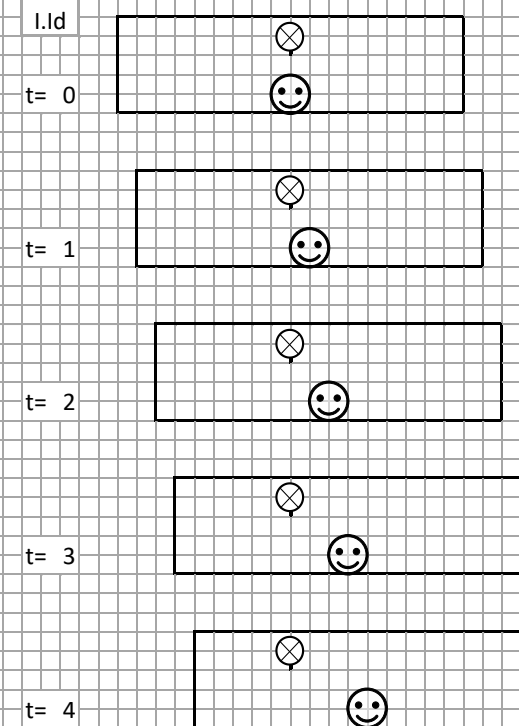
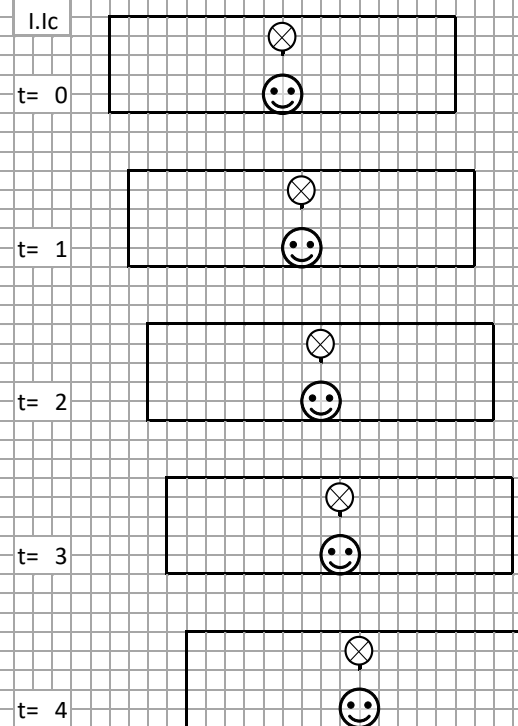
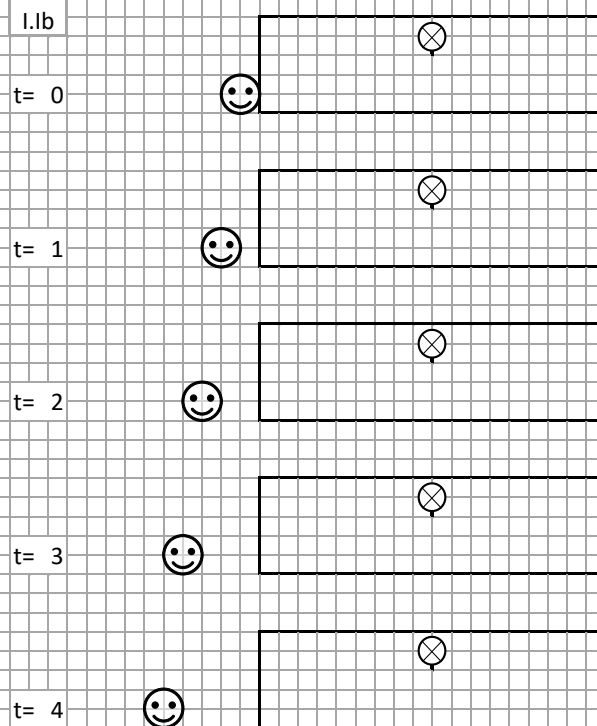
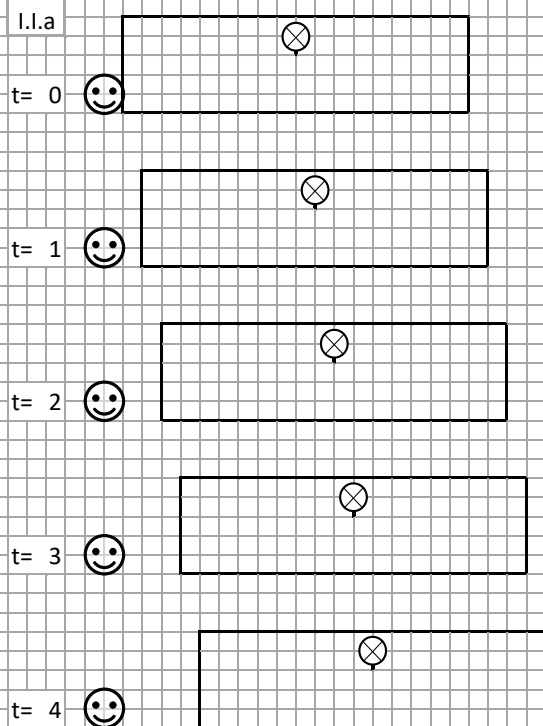
# Nakijken Opdracht 2.1

- 2.a licht raakt de deuren op  $t=3$
- 2.b licht raakt de deuren op  $t=3$
- 2.c licht raakt de rechterdeur op  $t=1$  en de linkerdeur op  $t=5$ .





# Nabespreken Opdracht 2.2





## Reflectie-opdracht 2.3

---

- Hoe heb je zelf een constante snelheid toegepast?
- Hoe hebben anderen dat gedaan?
- Wat is het verschil tussen de verschillende manieren van een constante snelheid toepassen?
- Is een van de manieren die je gezien hebt een voorbeeld waarbij geen constante snelheid is toegepast?



# Klassengesprek

---

- Heb je 3x hetzelfde gedaan, onafhankelijk van de situatie?
  - Hoe heb je het tekenen aangepakt?
  - Ten opzichte waarvan heb je een constante snelheid toegepast?
  - Hoe kan je je methode uitleggen?
  - Is consistent dezelfde manier van tekenen/referentiekader gebruikt?



## Hoe beweegt licht?

---

*Er zijn verschillende manieren waarop een constante snelheid kan worden toegepast. Het verschil tussen die mogelijkheden zit hem in het referentiekader ten opzichte waarvan die lichtsnelheid constant is gekozen.*

*Plausibele antwoorden: Ten opzichte van het ruitjespapier, ten opzichte van de lamp, ...*

Ten opzichte van welk referentiekader heeft licht een constante snelheid?



# Ten opzichte van welk referentiekader heeft licht een constante snelheid?

---

- Volgende activiteit: oefenen met die tekenregels en daar voorspellingen mee doen.
- Extra oefenen: Opdracht 2.4



# 3. Wat kunnen we leren van tekenregel-voorspellingen?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

---

We weten al....

- Voortbewegen van licht met een constante snelheid kan op verschillende manieren worden toegepast.
- Verschil zit hem in referentiekaders ten opzichte waarvan je de snelheid constant kiest.
- Twee tekenregels:
  - Constante snelheid ten opzichte van het ruitjespapier
  - Constante snelheid ten opzichte van de lamp
- Allebei plausibel. Ten opzichte van welk referentiekader heeft licht een constante snelheid?



Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

---

*Aan het eind van deze les kan je de twee tekenregels waarmee het voortbewegen van licht kan worden beschreven toepassen in verschillende contexten. Ook kan je deze tekenregels gebruiken om voorspellingen te doen.*



# Voorspellingen doen met tekenregels

---

- Opdracht 3.1, 3.2 en 3.3; diagrammen 3.a en 3.b
- In tweetallen

*In deze opdracht moet je terugredeneren. Op het tijdstip  $t=0$  komen lichtflitsen gelijktijdig aan bij het meetinstrument van een onderzoeker. Deze lichtflitsen zijn een tijdje eerder uitgezonden door twee lampen die op een karretje staan. De lichtflitsen zijn niet per se op hetzelfde moment uitgezonden.*

*Tweetal 1: inertiaalstelsel van de onderzoeker die naar een bewegende lichtbronnen kijkt (diagram 3.a)*

*Tweetal 2: inertiaalstelsel van de onderzoeker die met de lichtbronnen meebeweegt (diagram 3.b)*

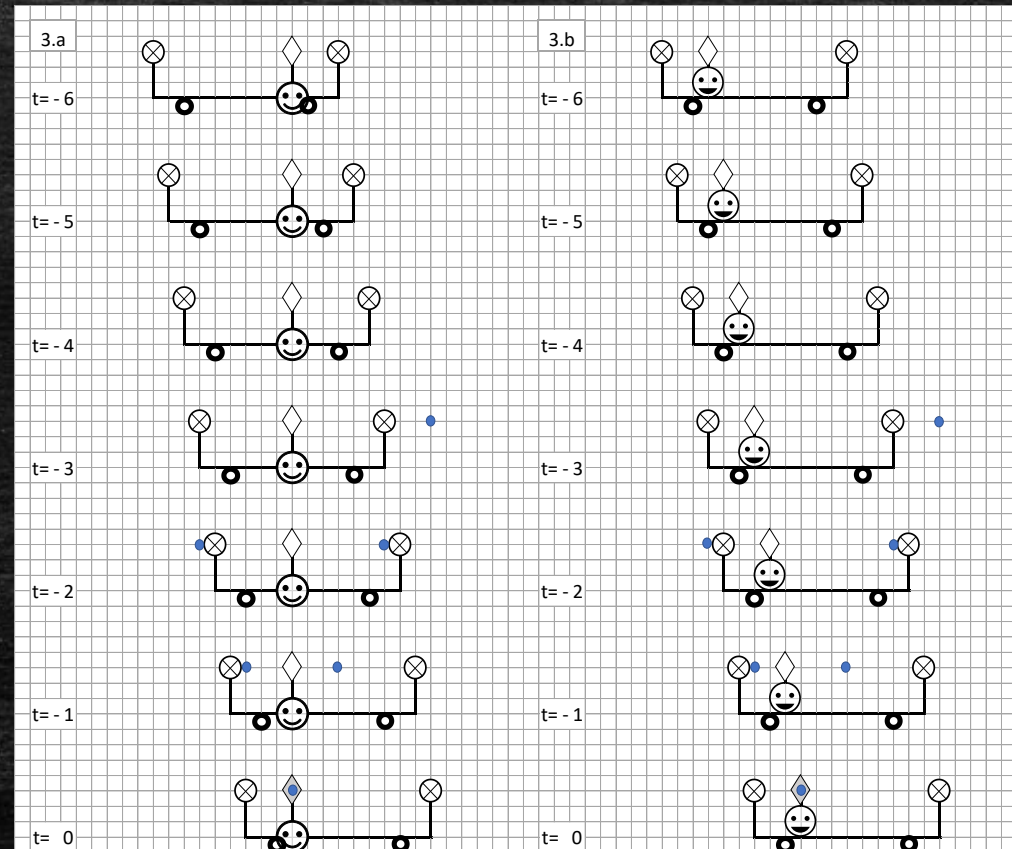
1. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 1 gebruikt.
2. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
3. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.



# Nakijken Opdracht 3.1

Tekenregel 1: constante snelheid ten opzichte van het papier.

1. links tussen  $t = -1$  en  $t = -2$ ;  
rechts tussen  $t = -2$  en  $t = -3$
2. **3.a:** snelheid ten opzichte van het papier en de onderzoeker 3 hokjes/tijdstapje; ten opzichte van de lampen: 2 hokjes/tijdstapje naar rechts en 4 hokjes/tijdstapje naar links.  
**3.b:** snelheid ten opzichte van het papier 3 hokjes/tijdstapje; ten opzichte van de lampen en de onderzoeker: 2 hokjes/tijdstapje naar rechts en 4 hokjes/tijdstapje naar links.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet.

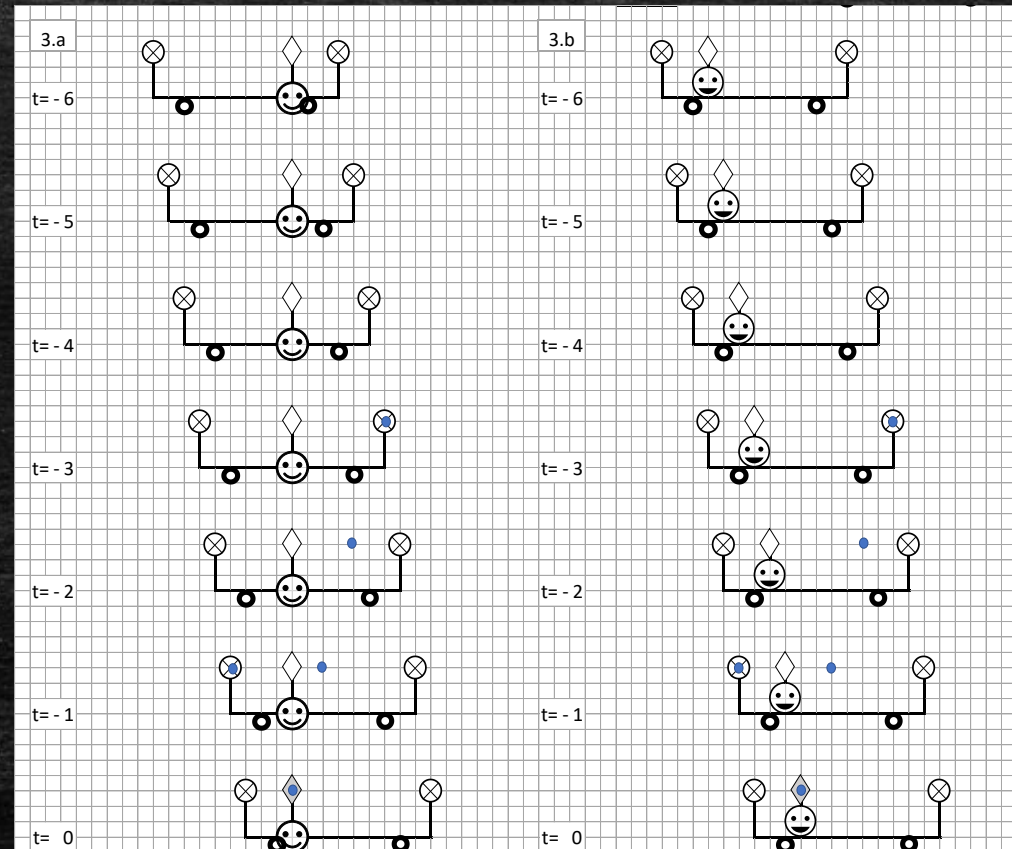




# Nakijken Opdracht 3.2

Tekenregel 2: constante snelheid ten opzichte van de lamp.

1. Links  $t = -1$ ; rechts  $t = -3$
2. **3.a:** snelheid ten opzichte van het papier en de onderzoeker 4 hokjes/tijdstapje naar links en 2 hokjes/tijdstapje naar rechts; ten opzichte van de lampen: 3 hokjes/tijdstapje. **3.b:** snelheid ten opzichte van het papier 4 hokjes/tijdstapje naar links en 2 hokjes/tijdstapje naar rechts; ten opzichte van de lampen en de onderzoeker: 3 hokjes/tijdstapje.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet.





# Nakijken Opdracht 3.3

Diagram 3.a	Tekenregel 1 (tov papier)	Tekenregel 2 (tov lamp)
1a	3	2
1b	4	3
1c	3	2
2a	3	4
2b	2	3
2c	3	4

Diagram 3.b	Tekenregel 1 (tov papier)	Tekenregel 2 (tov lamp)
3a	2	3
3b	2	3
3c	3	2
4a	4	3
4b	4	3
4c	3	4



# Reflectieopdracht 3.4 Nabespreken in Duo's

---

1. Welke tekenregel(s) is/zijn juist? Omcirkel de stelling die het dichtst bij jou idee komt:

- A. De tekenregel die ik bij Inleveropdracht I gebruikte kan juist zijn, de andere tekenregel niet.
- B. De tekenregel die ik bij Inleveropdracht I gebruikte is niet juist, de andere kan wel juist zijn.
- C. De tekenregel die ik bij Inleveropdracht I gebruikte EN de andere tekenregel kunnen juist zijn.
- D. De tekenregel die ik bij Inleveropdracht I gebruikte OF de andere tekenregel kunnen juist zijn.

Een onderzoeker gebruikt zowel tekenregel 1 als tekenregel 2 om een voorspelling te doen. De voorspellingen komen niet overeen.

2. Kunnen beide voorspellingen juist zijn? Leg je antwoord uit.

3. Kunnen beide voorspellingen door dezelfde meting worden bevestigd? Leg je antwoord uit.



# Klassengesprek

---

- Kan een van de tekenregels waar zijn?
- Doet de tekenregel een voorspelling over de werkelijkheid waar je iets aan hebt?
- Wat moeten we met deze voorspellingen?



Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

---

*De twee tekenregels leveren verschillende voorspellingen op. Deze voorspellingen kunnen niet gelijktijdig waar zijn. We moeten dus echt gaan kiezen, maar maken die keuze nu nog niet.*

Is een van de tekenregels een geschikt voortbewegingsmodel voor licht?



# Is een van de tekenregels een geschikt voortbewegingsmodel voor licht?

---

- In de komende les(sen) gaan we de tekenregels evalueren aan de hand van experimenten om tot een definitief voortbewegingsmodel voor licht te komen.
- Extra oefenen: Opdracht 3.5 t/m 3.8.



4. Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten om als voortbewegingsmodel voor licht te gebruiken?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten?

---

We weten al....

- We hebben twee tekenregels gebruikt om voorspellingen te doen
  - Tekenregel 1: ten opzichte van het papier
  - Tekenregel 2: ten opzichte van de lamp
- Toepassen van deze tekenregels in dezelfde situatie levert verschillende voorspellingen op.
- Deze twee voorspellingen kunnen niet allebei tegelijk door een meting bevestigd worden.
- Is een van deze tekenregels geschikt om het voortbewegen van licht te beschrijven?



# Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten?

---

We gaan...

- De tekenregels en de voorspellingen die daarmee gedaan zijn in opdracht 3.1 en 3.2 analyseren.
- Met behulp van de resultaten van twee experimenten:
  - De Sitter
  - Michelson Morley.
- Met deze resultaten kan worden bepaald of (een van) de tekenregel (s) geschikt is/zijn om het voortbewegen van licht te beschrijven.



Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten?

---

*Aan het eind van deze les weet je of de voorspellingen die met de tekenregels gemaakt worden ook worden bevestigd door experimenten. Met deze kennis kan je ook onderbouwen of (een van) de tekenregel(s) geschikt is als voortbewegingsmodel voor licht.*



# Introductie Experimenten

---

- De Sitter: <https://www.youtube.com/watch?v=HXLj5J4l1nY>
- Michelson- Morley:  
<https://www.youtube.com/watch?v=uMaFB3jM2qs&t=24s>  
(minuut 5.50-8.05)

Analyseren voorspellingen met de experimenten:

- Opdracht 4.1 en 4.2; diagrammen 3.a en 3.b



# Nakijken Opdracht 4.1 en 4.2

Vraag	Michelson-Morley	De Sitter
1	Niet	Wel
2	Wel	Wel
3	Wel	Niet
4	Diagram 3.b	Diagram 3.a
5	Gelijk aan	Gelijk aan
6	3.a	3.b
7	3.b	3.a
8	Stilstaat	Beweegt
9	Beweegt	Stilstaat
10	Beweegt	Beweegt



# Reflectie-opdracht

---

*Licht beweegt in deze situaties op de bevestigde manier Dat betekent dat tekenregel 1 (constante snelheid tov het papier) is bevestigd in situaties die lijken op diagram 3.a en ontkracht is in situaties die lijken op diagram 3.b, terwijl tekenregel 2 (constant ten opzichte van de lamp) is bevestigd in op diagram 3.b en ontkracht is in situaties die lijken op diagram 3.a.*

1. Is een van deze tekenregels een geschikt voortbewegingsmodel voor licht?



# Klassengesprek

---

- Waarom mag je die twee modellen niet meer gebruiken?
- Wat moet je doen in een situatie waarin de beweging weer anders is?
- We zijn op zoek naar een eenduidig mechanisme...
  - Kan je de oude modellen nog gebruiken?
- Wat weten we aan de hand van de experimenten (MM & DS) over hoe licht zich voortbeweegt?



Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten?

---

*De tekenregels geven allebei geen geschikt algemeen model om het voortbewegen van licht te beschrijven. Licht beweegt zoals bevestigd door de experimenten, dus tekenregel 1 en 2 kunnen niet meer worden gebruikt om in verschillende situaties te voorspellen hoe licht zich voortbeweegt.*

Kunnen we een nieuwe tekenregel verzinnen die wel algemeen toepasbaar is?



Kunnen we een nieuwe tekenregel verzinnen die wel algemeen toepasbaar is?

---

Nieuwe tekenregel ontwikkelen.

Extra oefenen: Opdracht 4.3 en 4.4



5. Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?

---

We weten al....

- Zowel tekenregel 1 als 2 levert geen algemeen voortbewegingsmiddel voor licht op.
- Is er een ander voortbewegingsmodel dat wel algemeen gebruikt kan worden.

We gaan...

- Nieuw model ontwikkelen



Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?

---

*In deze les gebruik je de resultaten van de experimenten uit de vorige les om tot een nieuwe tekenregel te komen. Daarmee weet je aan het eind van deze les welk voortbewegingsmodel voor licht overeenkomt met de waarnemingen. Ook kan je dit voortbewegingsmodel toepassen in de diagrammen om voorspellingen te doen.*



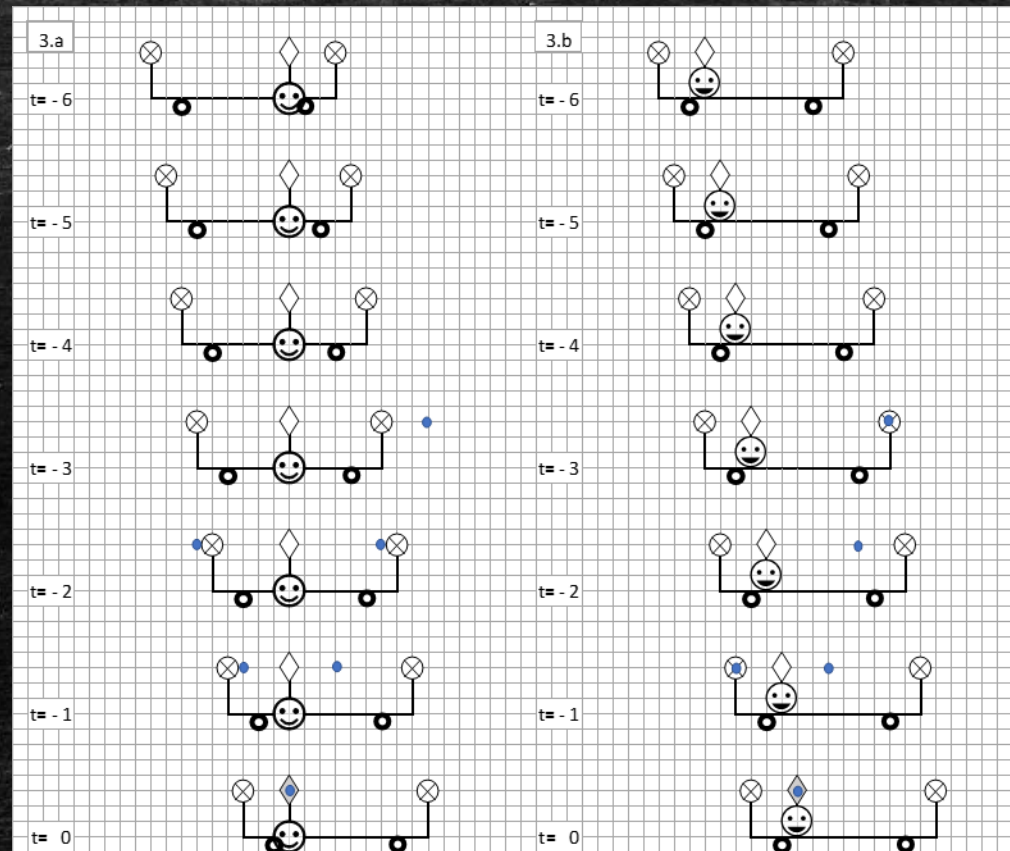
# Bevestigde voorspellingen vorige les

## ▪ Opdracht 5.1

<b>Michelson-Morley</b>	<b>De Sitter</b>
Komt overeen met Diagram....	Komt overeen met Diagram....
De lamp beweegt wel/niet ten opzichte van de waarnemer.	De lamp beweegt wel/niet ten opzichte van de waarnemer.
De waarnemer beweegt wel/niet ten opzichte van de achtergrond.	De waarnemer beweegt wel/niet ten opzichte van de achtergrond.
De lamp beweegt wel/niet tov de achtergrond.	De lamp beweegt wel/niet tov de achtergrond.
Snelheid licht tov waarnemer naar rechts: naar links:	Snelheid licht tov waarnemer naar rechts: naar links:
Snelheid licht tov lamp naar rechts: naar links:	Snelheid licht tov lamp naar rechts: naar links:
Snelheid licht tov ruitjespapier naar rechts: naar links:	Snelheid licht tov ruitjespapier naar rechts: naar links:



# Bevestigde voorspellingen vorige les





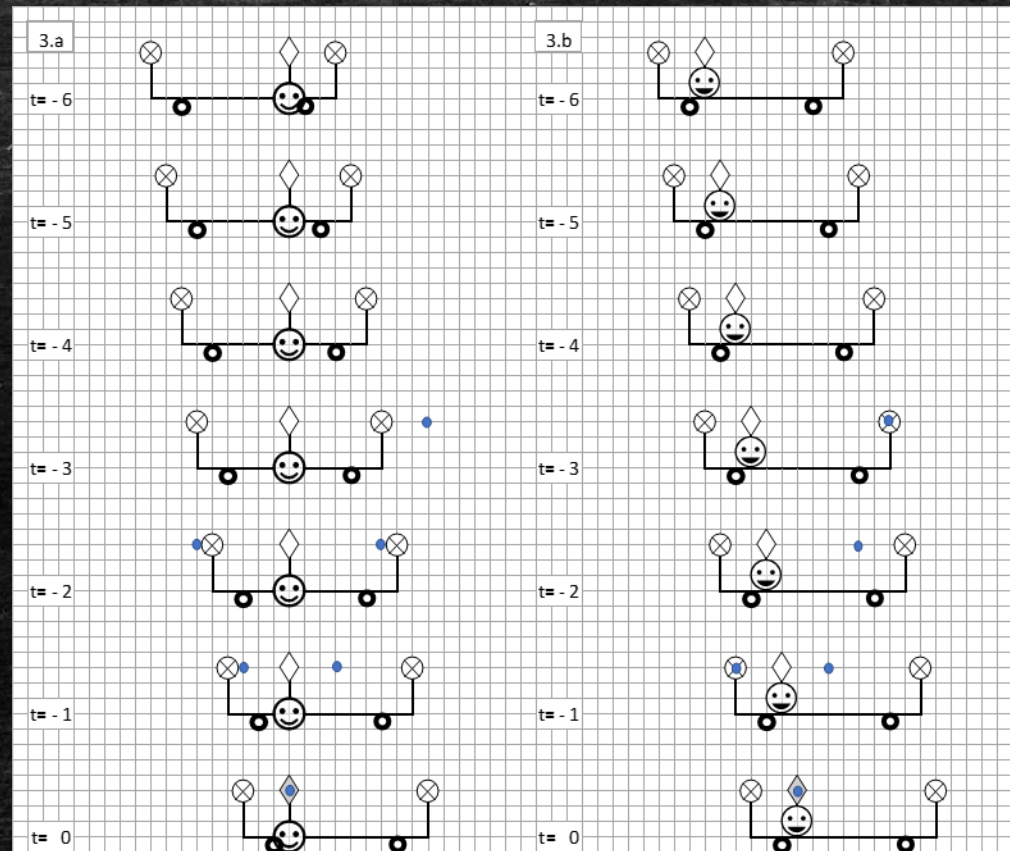
# Nakijken Opdracht 5.1

Michelson-Morley	De Sitter
Komt overeen met Diagram <b>3.b</b>	Komt overeen met Diagram <b>3.a</b>
De lamp beweegt <del>wel</del> / <b>niet</b> ten opzichte van de waarnemer.	De lamp beweegt <b>wel</b> / <del>niet</del> ten opzichte van de waarnemer.
De waarnemer beweegt <b>wel</b> / <del>niet</del> ten opzichte van de achtergrond.	De waarnemer beweegt <del>wel</del> / <b>niet</b> ten opzichte van de achtergrond.
De lamp beweegt <b>wel</b> / <del>niet</del> tov de achtergrond.	De lamp beweegt <b>wel</b> / <del>niet</del> tov de achtergrond.
Snelheid licht tov waarnemer naar rechts: <b>3 hokjes per tijdstapje</b> naar links: <b>3 hokjes per tijdstapje</b>	Snelheid licht tov waarnemer naar rechts: <b>3 hokjes per tijdstapje</b> naar links: <b>3 hokjes per tijdstapje</b>
Snelheid licht tov lamp naar rechts: <b>3 hokjes per tijdstapje</b> naar links: <b>3 hokjes per tijdstapje</b>	Snelheid licht tov lamp naar rechts: <b>2 hokjes per tijdstapje</b> naar links: <b>4 hokjes per tijdstapje</b>
Snelheid licht tov ruitjespapier naar rechts: <b>4 hokjes per tijdstapje</b> naar links: <b>2 hokjes per tijdstapje</b>	Snelheid licht tov ruitjespapier naar rechts: <b>3 hokjes per tijdstapje</b> naar links: <b>3 hokjes per tijdstapje</b>



# Reflectieopdracht 5.2

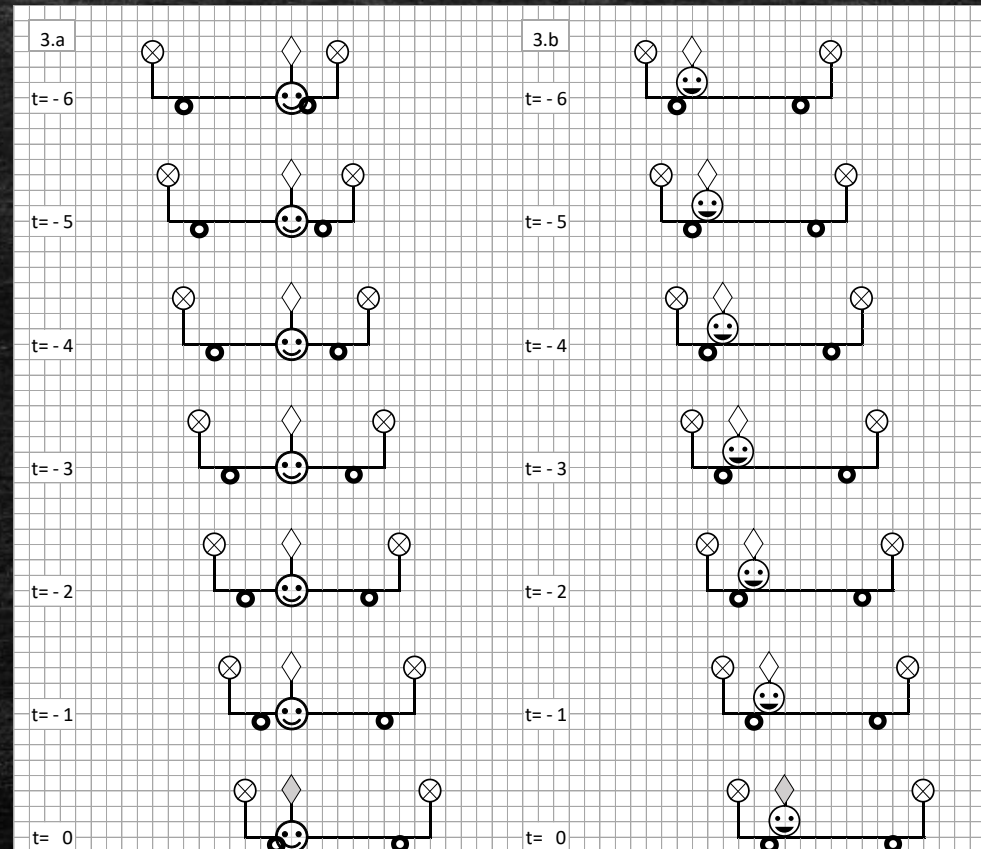
## Bevestigde voorspellingen vorige les





# Reflectieopdracht 5.2 Nabespreken in Duo's

1. Geef een tekenregel waarmee de experimentele resultaten gereproduceerd kunnen worden.
2. Probeer de tekenregel uit.
3. Ben je tevreden met je tekenregel?





# Klassengesprek

---

- Kunnen we van de tekenregel een voortbewegingsmodel maken?
- Wat weten we nog wel zeker?
- Wat geldt in beide situaties?
- Ten opzichte waarvan is de lichtsnelheid wel constant?
- Ten opzichte waarvan heeft licht in beide situaties een constante snelheid?



Kunnen we een algemeen  
voortplantingsmodel voor licht maken?

*Licht heeft een constante snelheid ten opzichte  
van de onderzoeker. Dit geldt voor alle  
onderzoekers, in alle situaties.*

Deze regel noemen we het lichtpostulaat. ★



# Oefenen met het lichtpostulaat

---

- Opdracht 5.3; diagram 5.c

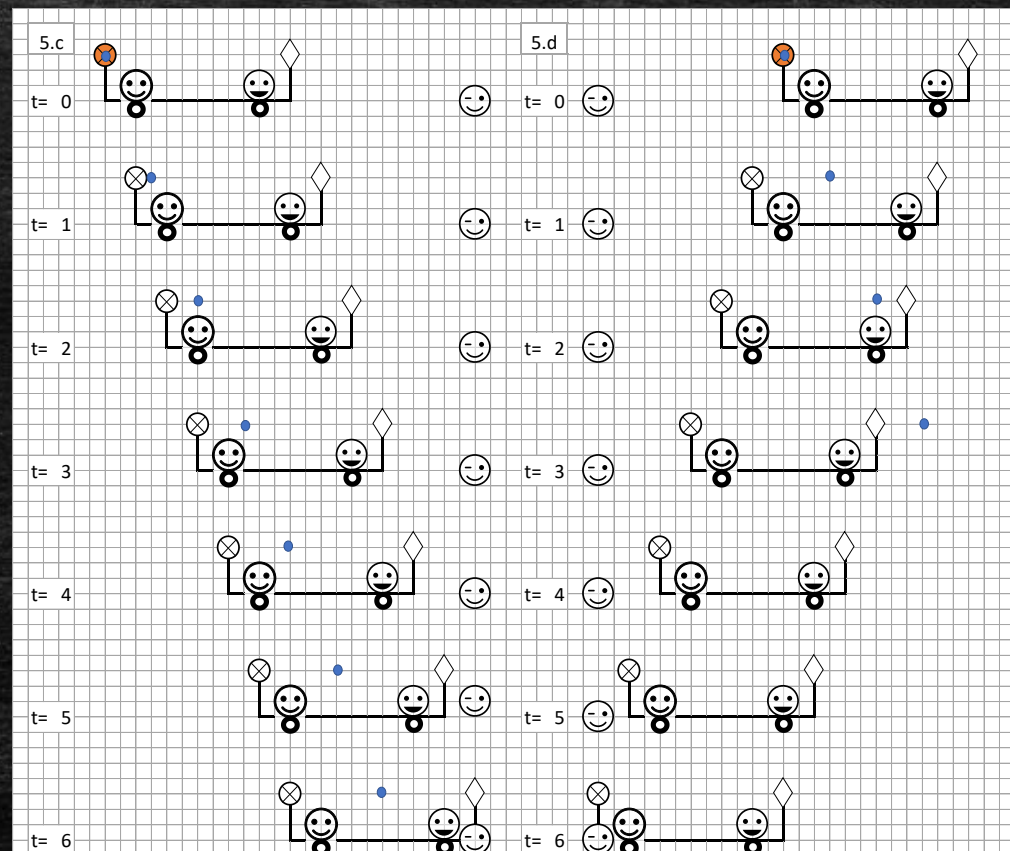
*Een passagier in de trein stuurt een tekstbericht met bluetooth (een lichtsignaal) naar een passagier achter in de trein. De telefoon van de voorste passagier is weergegeven als lampje, van de achterste passagier als ontvanger. Buiten op het perron staat een toeschouwer. Het bericht verlaat de telefoon met een snelheid van 3 hokjes per tijdstapje en de trein rijdt met 2 hokjes per tijdstap.*

1. Bepaal na hoeveel tijdstappen het bericht de andere kant van de trein raakt.
2. Bepaal de snelheid van de elektromagnetische golf.



# Nakijken Opdracht 5.3

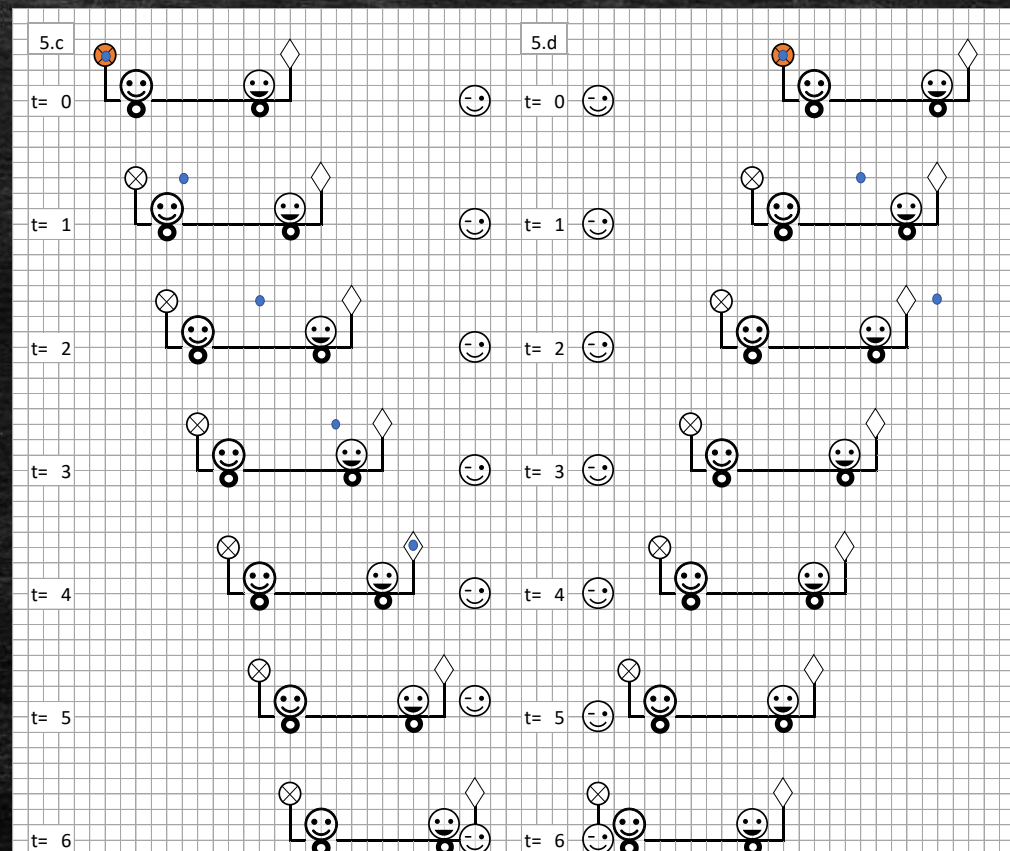
1. 3 hokjes per tijdstapje.
2. 3 hokjes per tijdstapje ten opzichte van de onderzoeker.





# Nakijken Opdracht 5.3

3. 3 hokjes per tijdstapje.
4. 3 hokjes per tijdstapje ten opzichte van de onderzoeker.





# Hoe pakt het lichtpostulaat uit in nieuwe situaties?

---

Laten we aannemen dat het lichtpostulaat waar is, hoe pakt dat dan uit in nieuwe situaties.

Extra oefenen: Opdracht 5.4 en 5.5



6. Wat zijn de gevolgen  
van het lichtpostulaat  
voor plaats en tijd?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?

---

We weten al....

- Lichtpostulaat: constante snelheid ten opzichte van elke onderzoeker.
- Aannemend dat het lichtpostulaat klopt, wat zijn de gevolgen?
- Specifiek: voor de plaats en tijd die onderzoekers aan gebeurtenissen toekennen.



Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?

---

*Aan het eind van deze les kan je het lichtpostulaat in nieuwe contexten toepassen en kan je de gevolgen van dit voortbewegingsmodel voor het type voorspelling dat je daarmee kan doen uitleggen.*

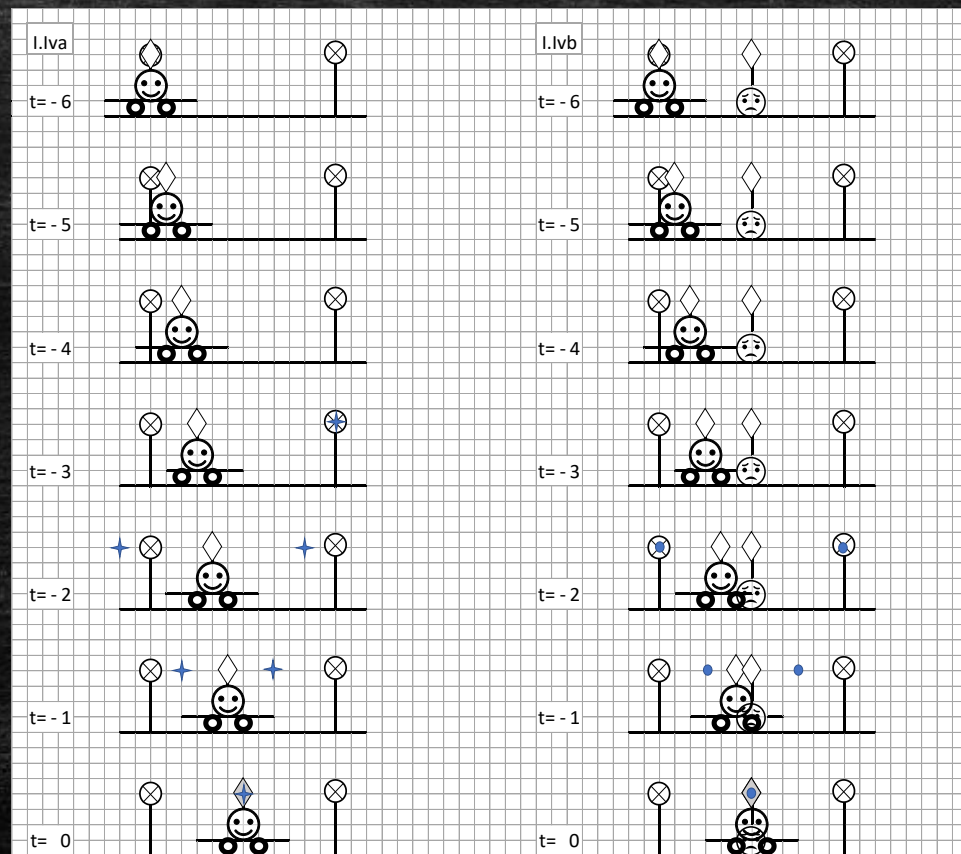
Maken 6.1



# Nakijken Redeneeropdracht 6.1

**I.IVa:**  
links tussen  $t=-1, x=-3$ , en  $t=-2, x=-6$   
rechts  $t=-3, x=9$

**I.IVb:**  
links  $t=-2, x=-6$ ,  
rechts  $t=-2, x=6$





## Reflectie-opdracht 6.2

---

- Wat is het gevolg van het lichtpostulaat voor de plaats en tijd die onderzoekers toekennen aan dezelfde gebeurtenissen?



# Klassengesprek

---

- Hoe verhoudt een logische uitkomst zich met een intuïtieve uitkomst?
- Kunnen we de tegenintuïtieve uitkomst verklaren mbv het lichtpostulaat? (En het daarmee logisch maken.)



Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?

---

*Het lichtpostulaat stelt dat licht een constante snelheid heeft ten opzichte van de onderzoekers. Als onderzoekers ten opzichte van elkaar bewegen, heeft het lichtpostulaat als gevolg dat de onderzoekers verschillende tijdstippen aan dezelfde gebeurtenis toekennen. Bij lage relatieve snelheden verdwijnt het verschil tussen de waarnemingen van de onderzoekers.*

Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor tijdsduur?



Wat zijn de gevolgen van het  
lichtpostulaat voor tijdsduur?

---

Er moet iets gekes aan de hand zijn. Dat gaan we uitzoeken.

Extra oefenen: Opdracht 6.3 t/m 6.5



# 7. Wat is er aan de hand met tijdsduur?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Wat is er aan de hand met tijdsduur?

---

We weten al....

- Lichtpostulaat: constante snelheid ten opzichte van elke onderzoeker.
- Toegepast in een nieuwe situatie, waarin een waarnemer beweegt ten opzichte van de achtergrond èn ten opzichte van de lichtbronnen.
- Toegepast in een situatie met twee waarnemers die een snelheid ten opzichte van elkaar hebben.
- Gevolg van het lichtpostulaat: Twee onderzoekers die ten opzichte van elkaar bewegen kennen aan dezelfde gebeurtenis een andere plaats en tijd toe.



Wat is er aan de hand met tijdsduur?

---

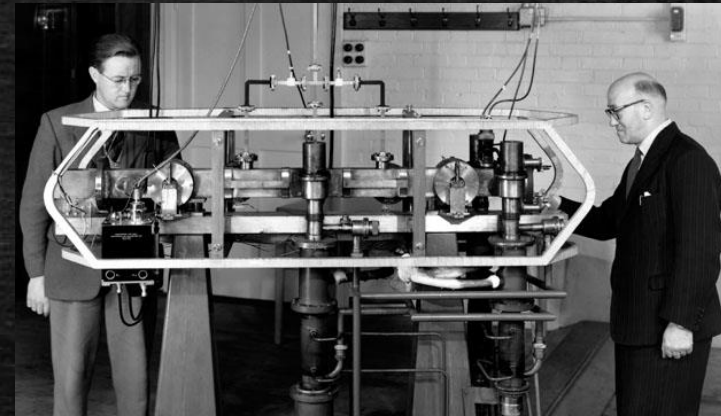
*Aan het eind van deze les kan je uitleggen wat de gevolgen van het lichtpostulaat voor de tijdsduur tussen twee gebeurtenissen zijn. Je kan uitleggen hoe die tijdsduur beïnvloed wordt door de relatieve snelheid tussen twee onderzoekers.*



# Gedachte-experiment Lichtklok

---

- Tijd meten we door het tellen van regelmatige processen
- Atoomklok:  
Maakt gebruik van trillingen van atomen
- Ander regelmatig proces:  
Op en neer kaatsen van licht tussen twee spiegels
- Lichtklok





# Gedachte-experiment Lichtklok

---

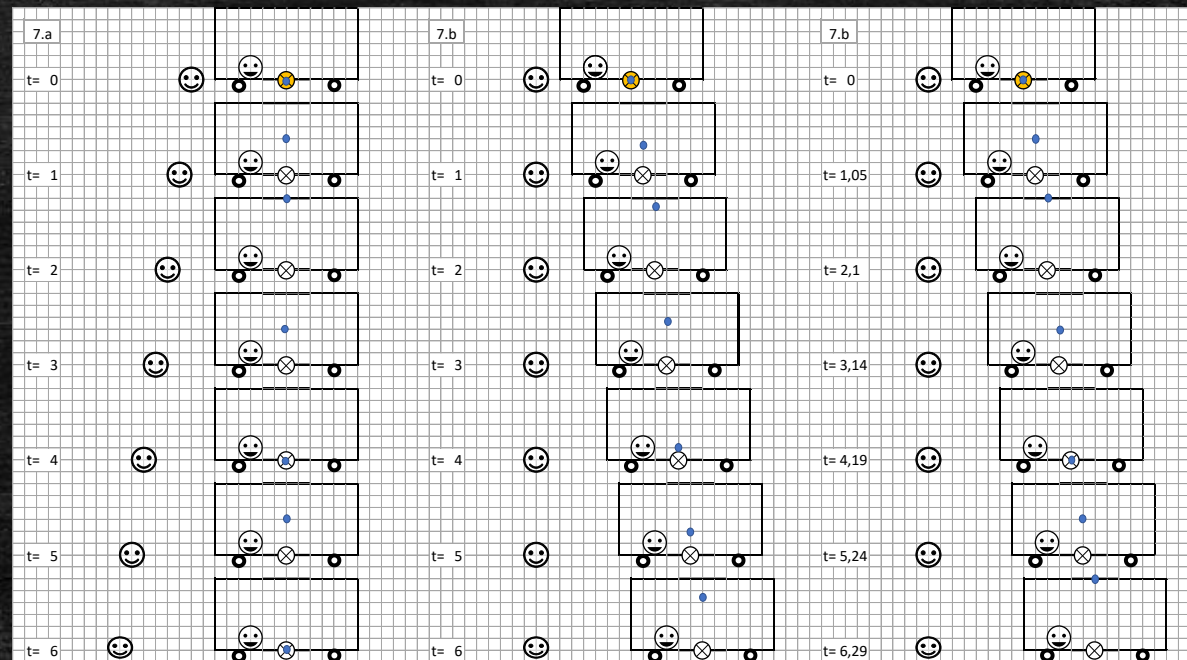
- Opdracht 7.1; diagrammen 7.a, 7.b en (x,y)-grafiek

*We bekijken een set spiegels waar een lichtflits op en neer kaatst. De lichtflits wordt op  $t=0$  uitgezonden door de lamp. Twee onderzoekers bekijken het proces. Een van de onderzoekers (A) heeft geen snelheid ten opzichte van de spiegels, voor de andere onderzoeker (B) bewegen de spiegels van hem af.*

Opdrachten: zie leerlingenboekje.



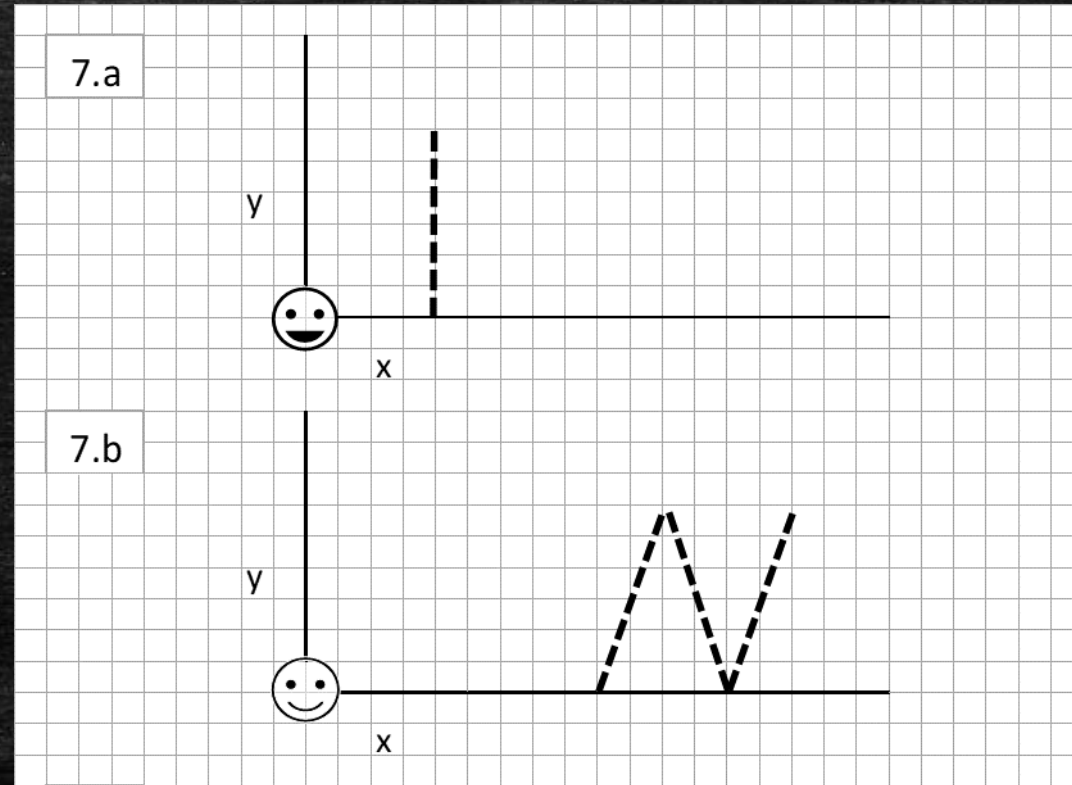
# Nakijken Opdracht 7.1



1. 4 tijdstapjes



# Nakijken Opdracht 7.1, Reflectieopdracht 7.2

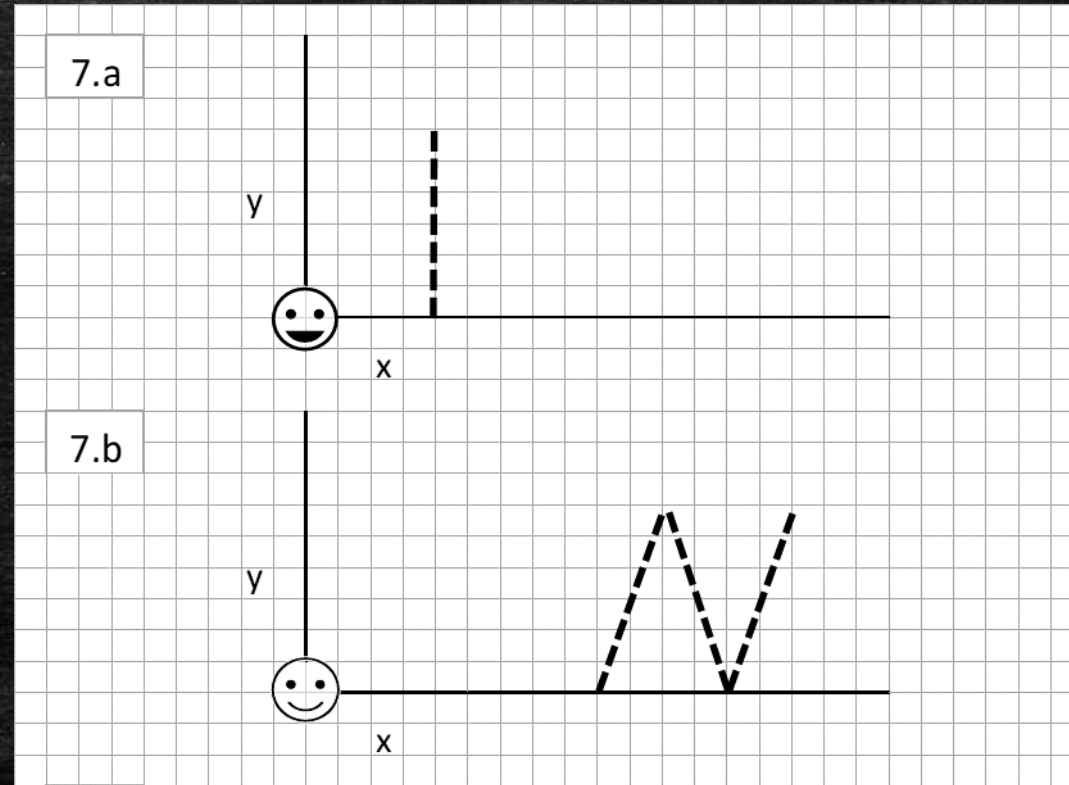


Vraag 3 en 5.



# Nabespreken Reflectieopdracht 7.2 in Duo's

1. Hoe groot is de tijdsduur tussen de twee gebeurtenissen volgens 
2. Meet onderzoeker  dezelfde tijdsduur?
3. Wat verandert er als de onderlinge snelheid tussen de onderzoekers toeneemt?
4. Wat verandert er als de onderlinge snelheid in grootte gelijk blijft, maar wel de andere kant op gaat?





# Klassengesprek

---

- Waarom wel/geen verschil in tijdsduur tussen de twee gebeurtenissen?
- Hoe verandert het verschil als de snelheid toeneemt/afneemt?
- Wat gebeurt er als de onderlinge snelheid (bijna) even groot is als de lichtsnelheid?
- Wanneer zullen de onderzoekers geen verschil in tijdsduur meten?
- Wat verandert er als de andere onderzoeker de spiegels vast zou houden?



# Wat is er aan de hand met tijdsduur?

---

*Het tijdsinterval tussen twee gebeurtenissen kan door verschillende onderzoekers worden gemeten. De gebeurtenissen hebben ieder een positie ten opzichte van die onderzoekers.*

*Als dat twee keer dezelfde positie is ten opzichte van de onderzoeker, meet die onderzoeker een korter tijdsinterval;*

*Als dat twee keer een andere positie is ten opzichte van de onderzoeker, meet die onderzoeker een langer tijdsinterval.*

Kunnen we tot een exactere verhouding komen van de twee tijdsduren?



Kunnen we tot een exactere verhouding komen van de twee tijdsduren?

---

Extra oefenen: Opdracht 7.3 t/m 7.6



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

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Met welke formule kunnen we het verschil in tijdsduur beschrijven?

---

We weten al....

- Lichtpostulaat: constante snelheid ten opzichte van elke onderzoeker.
- Tijdsduur tussen twee gebeurtenissen hangt af van de onderzoeker.
- Onderzoeker die de tijd meet tussen twee gebeurtenissen op dezelfde plek meet een kortere tijdsduur dan een onderzoeker die de tijd tussen dezelfde gebeurtenissen meet die op twee verschillende plekken ten opzichte van die onderzoeker gebeuren.
- Het verschil in tijdsduur hangt af van de relatieve snelheid tussen de twee onderzoekers.



# Met welke formule kunnen we het verschil in tijdsduur beschrijven?

---

- 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 waarmee tijdsintervallen tussen twee gebeurtenissen ten opzichte van verschillende onderzoekers in elkaar omgerekend worden, afleiden. Daarnaast weet je hoe je deze formule moet toepassen en kan je daar berekeningen mee doen.*

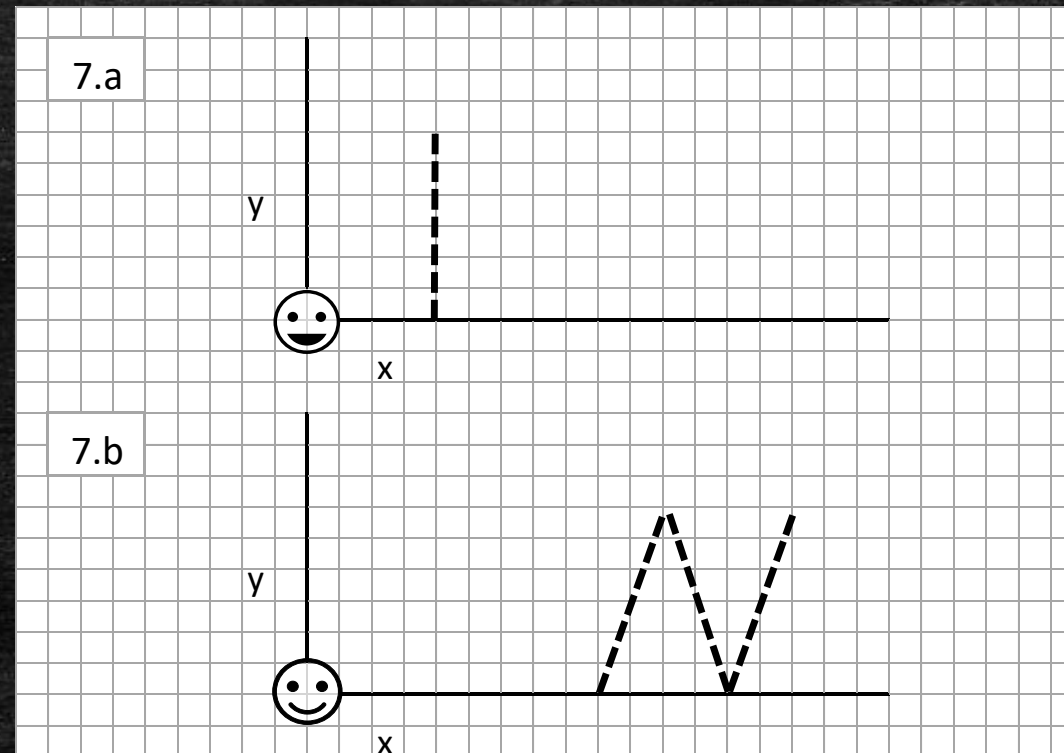


# Tijdsintervallen omrekenen

Opdracht 8.1;

(x,y)-diagrammen 7.a en 7.b

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.



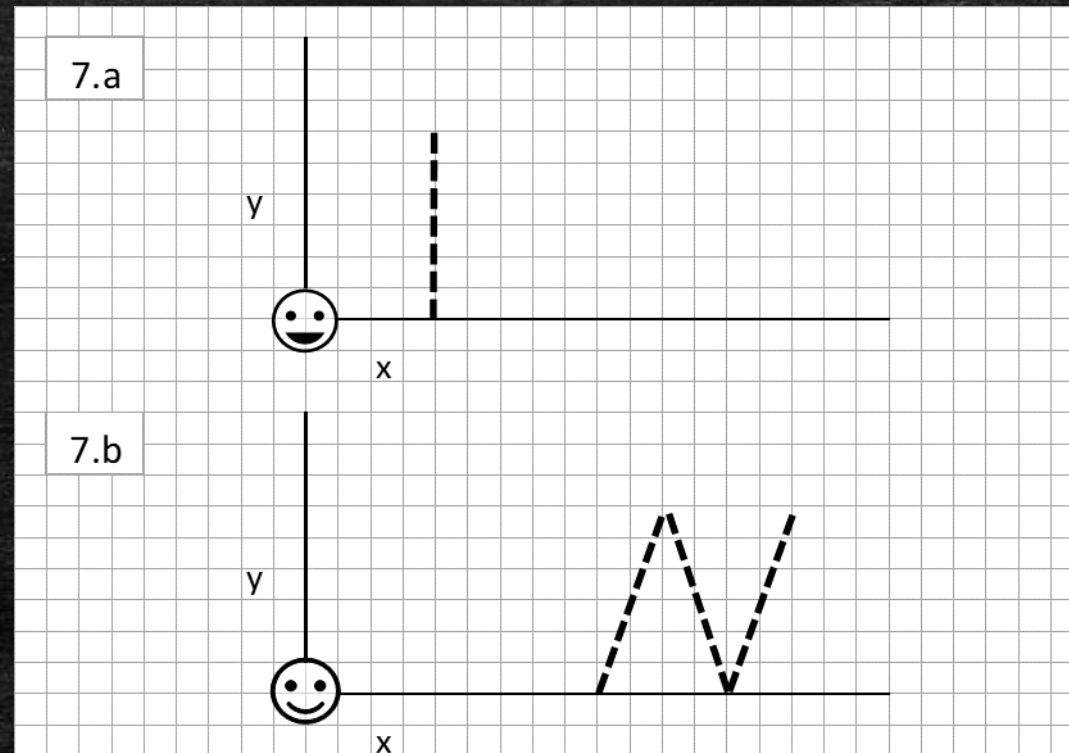


# Tijdsintervallen omrekenen

Opdracht 8.1;

(x,y)-diagrammen 7.a en 7.b

1.  $\Delta t_A = 4$  tijdstapjes  
 $s_A = 12$  hokjes  
 $c = 3$  hokjes per tijdstapje
2.  $\Delta t_B = 4,22$  tijdstapjes  
 $s_B = 2 \cdot$  schuine zijde  
schuine zijde  $= \sqrt{2^2 + 6^2}$





# Algemene oplossing

---

- $\Delta t_e$ : Tijdsinterval tussen twee gebeurtenissen ( $G_1$  en  $G_2$ ) die ten opzichte van de onderzoeker dezelfde positie hebben.
- $\Delta t_b$ : Tijdsinterval tussen (dezelfde) twee gebeurtenissen die ten opzichte van de onderzoeker niet dezelfde positie hebben.
- We zoeken een formule met de volgende vorm:

$$\Delta t_b = \textit{iets} \cdot \Delta t_e$$



# Algemene oplossing

---



G1: licht wordt uitgezonden &  
G2: licht is weer beneden

$\Delta t_e$

A vertical red line extending from the top of the page down to a white dot at the bottom.



# Algemene oplossing

---

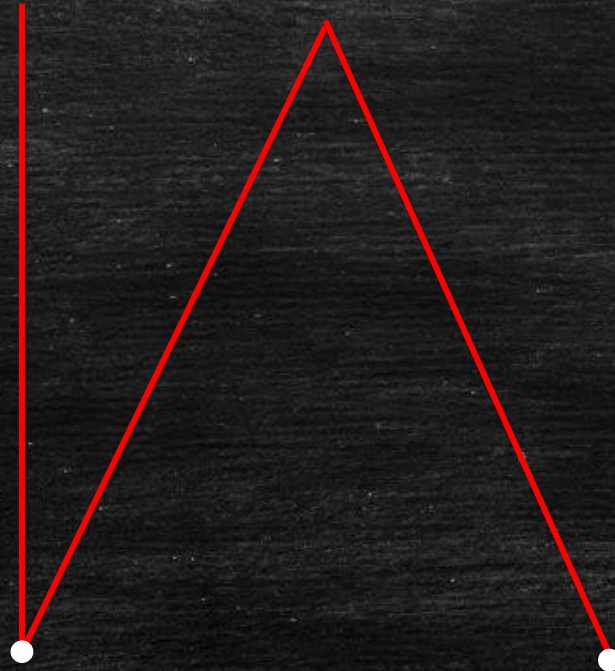


G1: licht wordt uitgezonden &  
G2: licht is weer beneden

$\Delta t_e$



G1: licht wordt uitgezonden



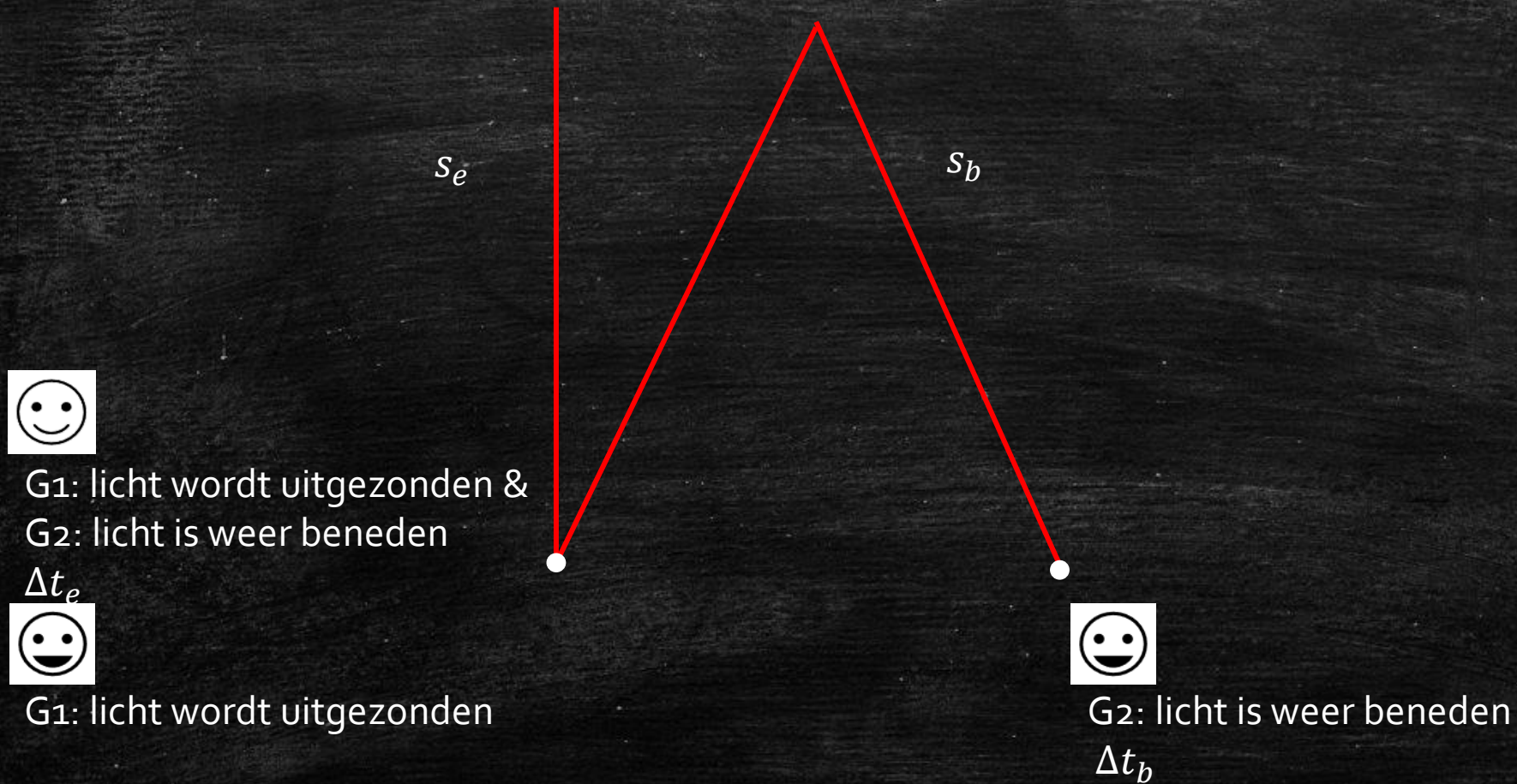
G2: licht is weer beneden

$\Delta t_b$



# Algemene oplossing

---





# Algemene oplossing

---

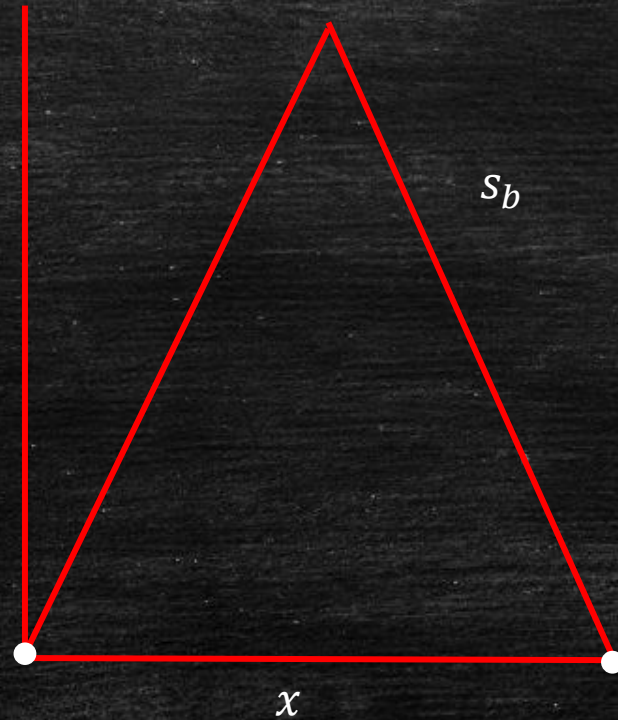


G1: licht wordt uitgezonden &  
G2: licht is weer beneden

$\Delta t_e$



G1: licht wordt uitgezonden



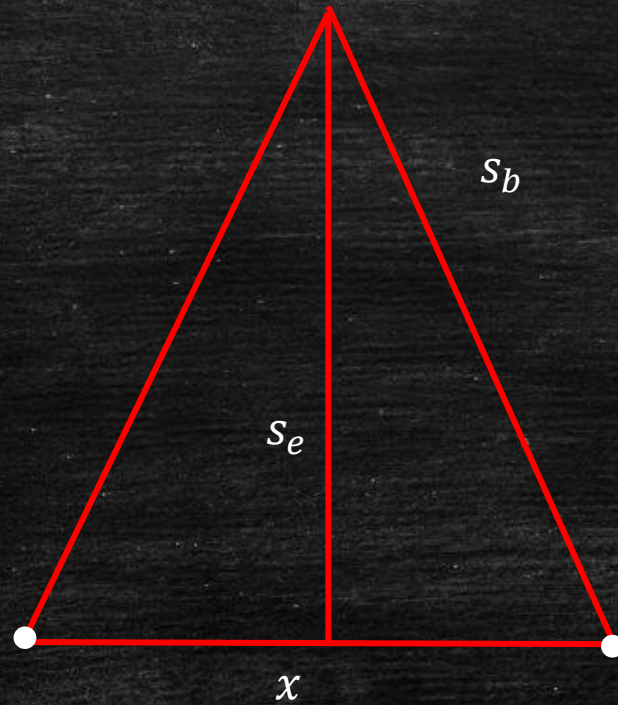
G2: licht is weer beneden

$\Delta t_b$



# Algemene oplossing

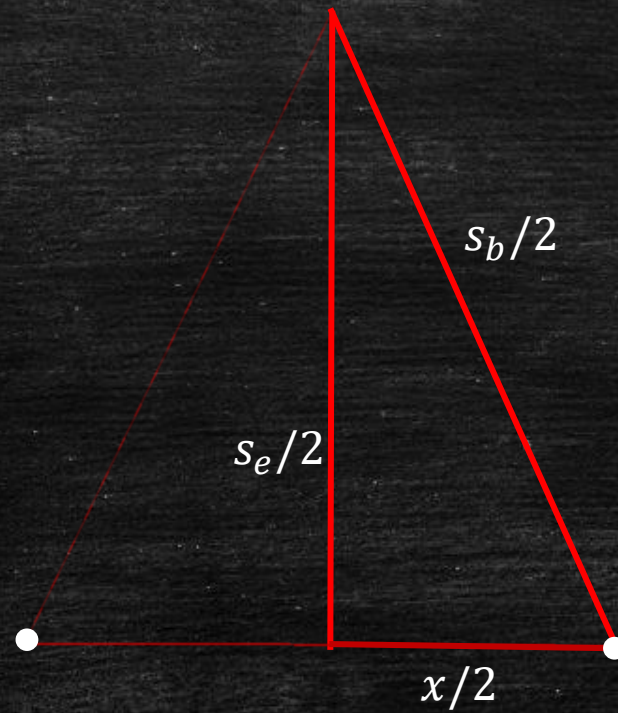
---





# Algemene oplossing

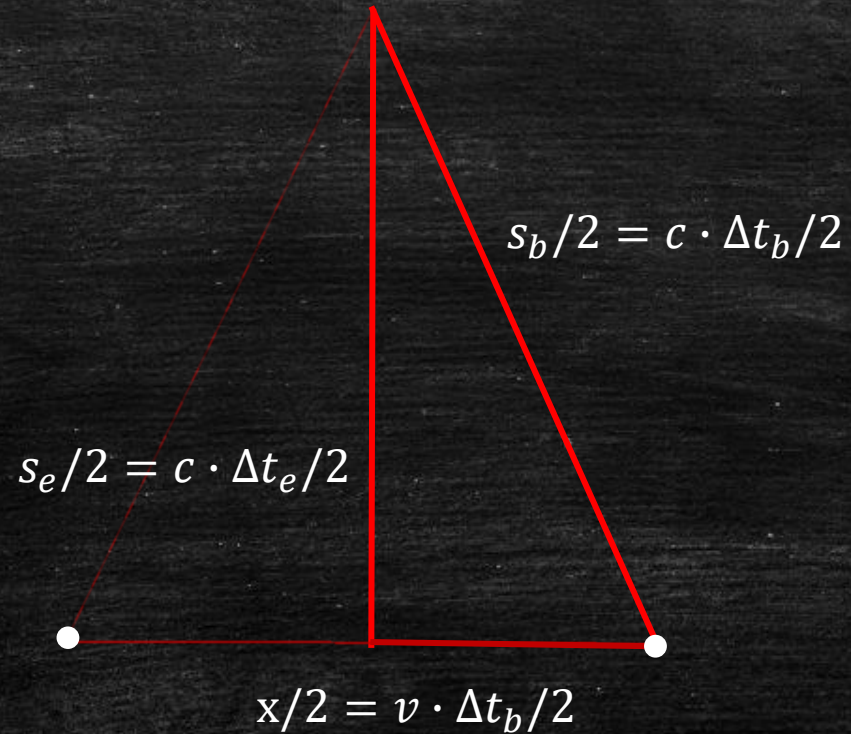
---





# Afstanden uitdrukken in tijdsintervallen

---

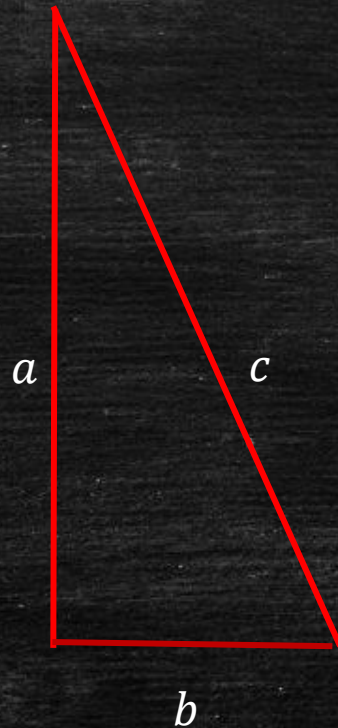




# Afstanden in elkaar uitdrukken

---

$$a^2 + b^2 = c^2$$





En nu de formule...

---

$$\Delta t_b = iets \cdot \Delta t_e$$



Nakijken Algemene oplossing

$$\Delta t_b = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \Delta t_e$$

- (Afleiding: <https://www.youtube.com/watch?v=HXaIMYUeaPA>)



# Reflectie-opdracht

---

- Voldoet de formule aan de voorwaarden uit de vorige les?
  - Verschil in tijdsduur neemt toe als de relatieve snelheid groter wordt
  - Verschil in tijdsduur neemt af als de relatieve snelheid kleiner wordt
  - Als de relatieve snelheid bijna gelijk is aan de lichtsnelheid gaat het verschil in tijdsduur naar oneindig.
  - De onderzoekers meten geen verschil in tijdsduur meer als de relatieve snelheid naar 0 gaat.
  - Het verschil in tijdsinterval is niet afhankelijk van de richting van de snelheid.

$$\Delta t_b = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \Delta t_e$$



# Klassengesprek

---

- Toepassen formule
- Herkennen welke onderzoeker  $\Delta t_e$  en  $\Delta t_b$  meet.
- Geldt het resultaat alleen voor lichtklokken?



Met welke formule kunnen we het verschil in tijdsduur beschrijven?

---

$$\Delta t_b = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \Delta t_e$$

- Dit resultaat geldt voor de lichtklok, dus andere meetinstrumenten zullen tot hetzelfde resultaat komen: Het resultaat geldt dus niet alleen voor de lichtklok.



Kan je nog bepalen of je beweegt of stilstaat?

---

Zijn er nog meer grootheden die afhangen van de waarnemer?

Extra oefenen: Opdracht 8.2 t/m 8.4



# 9. Kan je nog bepalen of je beweegt?

---

Module Speciale Relativiteit in de klas



# Kan je nog bepalen of je beweegt?

---

We weten al....

- Lichtpostulaat: constante snelheid ten opzichte van de waarnemer
- Tijdrek: Tijdsduur tussen twee gebeurtenissen hangt af van de onderzoeker.
- Tijdrek: Onderzoeker die de tijd meet tussen twee gebeurtenissen op dezelfde plek meet een kortere tijdsduur dan een onderzoeker die de tijd tussen dezelfde gebeurtenissen meet die op twee verschillende plekken ten opzichte van die onderzoeker gebeuren.

$$\Delta t_b = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \Delta t_e$$



# Gedachte-experiment in 3 rondes

---

- Groepjes van 4
- Vragen zo goed mogelijk proberen te beantwoorden
- Op basis van de natuurkunde die je tot nu toe geleerd hebt



# Ronde 1 – 10 minuten

---

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.

1. Kunnen wij er achter komen of wij nog in beweging zijn?



## Ronde 2 – 7 minuten

---

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?

2. Kunnen wij er achter komen of wij nog in beweging zijn?



## Ronde 3 – 7 minuten

---

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.

3. Kan je met deze extra informatie bepalen of de raket beweegt?



Kan je nog bepalen of je beweegt?

---

*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.*

*Dit heet het Relativiteitspostulaat*

Extra oefenen: 9.1