

Relativistiske gedachte- experimenten

Leerlingen ondersteunen bij uitvoering en vormgeven in de les

Floor Kamphorst, 16 en 17 december 2022

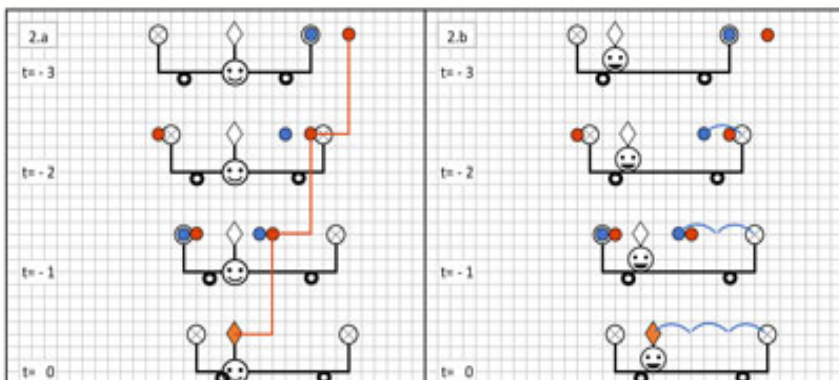
floor.kamphorst@ntnu.no



Relativiteit in de klas

Lesmateriaal ontwikkeld door Floor Kamphorst

| © freudenthal instituut | 99 views | [Home](#) |



Dit lesmateriaal is een correctie op een eerder verschen artikel. Het legt de noodzaak van een didactische aanpak uit met wat ze met natuurkunde Floor Kamphorst NC-SA licentie



en ook
en
n de
komen
erking
CC-BY-

Algemeen

[Achtergrond](#) (pdf).

Les 1 - Hoe kan je beweging beschrijven?

Over dit lesmateriaal verscheen het artikel Relativiteit in de klas (1) - Relativistisch redeneren in gedachte-experimenten, in NVOX (oktober 2019)

- [Docenthandleiding](#)
- [Leerlingenboekje](#)
- [Powerpoint](#)
- [Uitwerkingen](#)

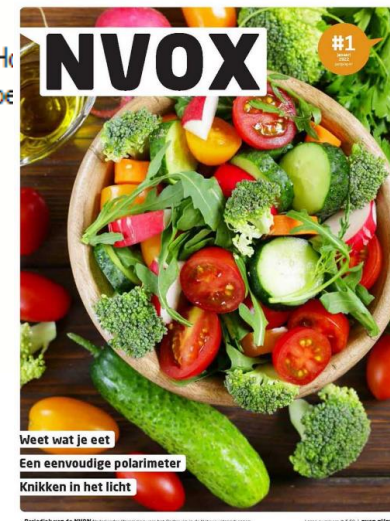
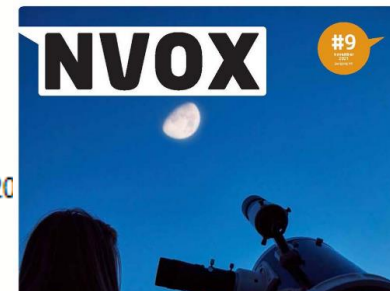
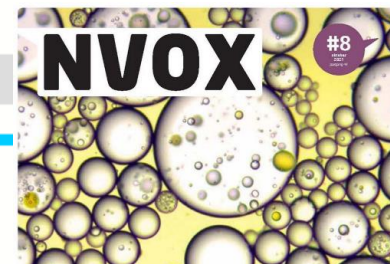
Les 2 - Hoe beweegt licht?

Les 3 - Wat kunnen we leren van de tekenregelvoorspelling?

Les 4 - Kan een van de tekenregels worden bevestigd?

Over dit lesmateriaal verscheen het artikel Relativiteit in de klas (2) - Hoe introduceer je een noodzaak voor het lichtpostulaat?, in NVOX (november 2019)

- [Docenthandleiding](#)
- [Leerlingenboekje](#)
- [Powerpoint Les 2](#)
- [Powerpoint Les 3](#)
- [Powerpoint Les 4](#)
- [Uitwerkingen](#)





Gedachte-experimenten zijn vervlochten met de oorsprong van de speciale relativiteitstheorie

Als ik een lichtstraal met snelheid c achternaeis, wat observeer ik dan? Ik zou zo'n lichtstraal als een ruimtelijk oscillerend electromagnetisch veld in rust moeten zien. Het ziet er daarentegen uit dat zo iets niet bestaat, noch op basis van ervaring, noch volgens de Maxwell vergelijkingen.



Hoofdboodschap

- 1) Het redeneerproces in gedachte-experimenten blijft vaak verborgen bij hun presentatie.
- 2) Dat redeneren zou expliciet gemaakt moeten worden en leerlingen hebben ondersteuning nodig bij het zelf uitvoeren van gedachte-experimenten.
- 3) Daarmee wordt het ook mogelijk om je onderwijs te koppelen aan leerling-ideeën over centrale begrippen in de theorie.

Leerdoel Relativiteit

«De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.» (Natuurkunde VWO, Syllabus centraal examen 2022)

Een gedachte-experiment (GE)

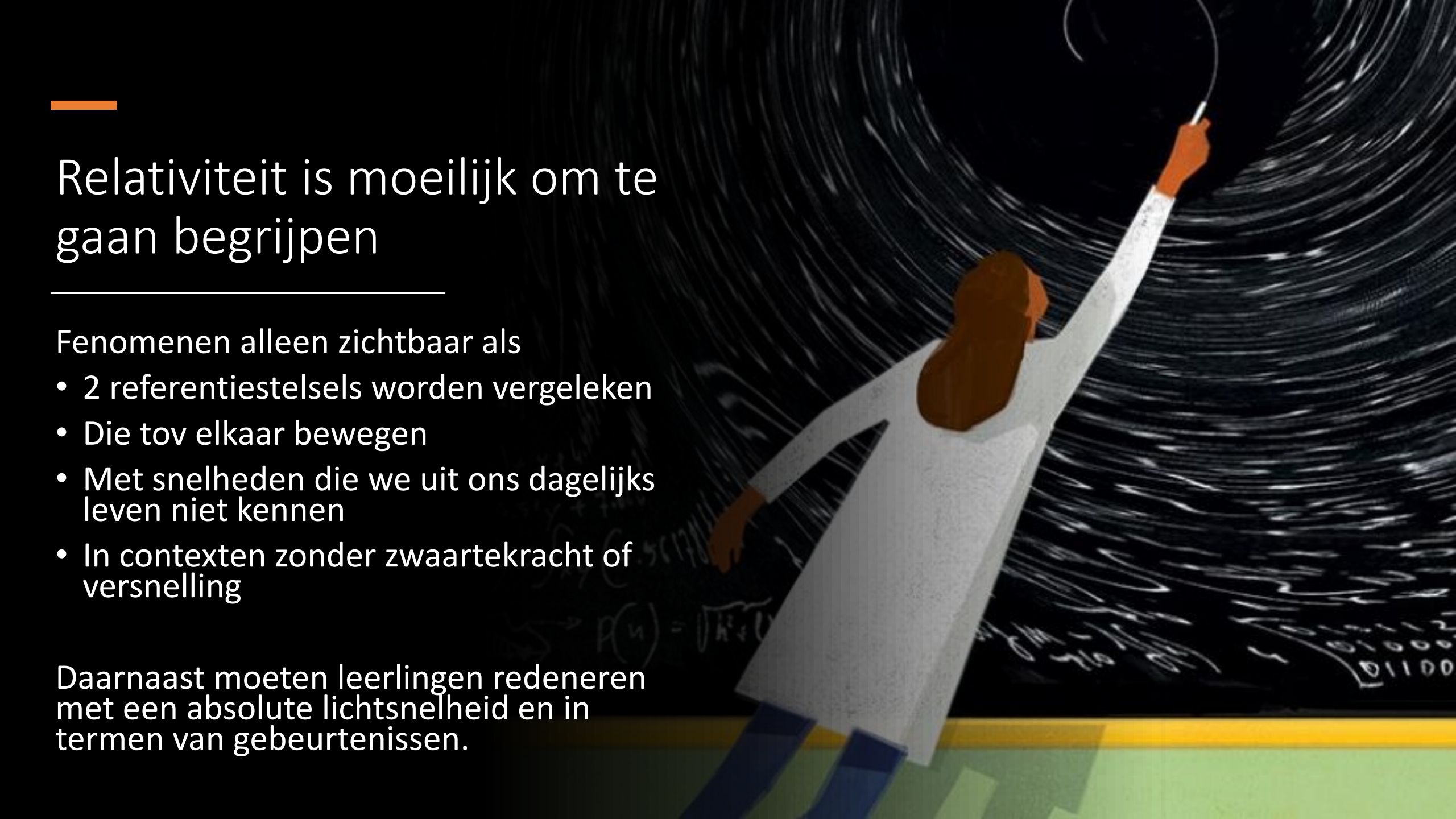
- 🌐 Twee lampen bevinden zich elk aan een kant van een wagen met lengte $l = 600\,000\text{ m}$. Deze wagen rijdt met snelheid $v = 0,5c$ voorbij een waarnemer. Beide lampen zenden een lichtflits uit.

Op het moment dat het midden van de wagen de waarnemer passeert, ziet deze de twee lichtflitsen gelijktijdig. Dit moment noemen we tijdstip $t = 0$.

? Wanneer zijn de lichtflitsen uitgezonden?

Reflectie

- Waar liep je tegenaan bij het uitvoeren van het gedachte-experiment?
- Hoe heb je dat opgelost?

An illustration of a person in a white lab coat and blue pants, reaching up with their right hand towards a glowing sphere. The background is dark with swirling white lines and faint mathematical formulas like $E=mc^2$ and $P(n) = \sqrt{n+1}$.

Relativiteit is moeilijk om te gaan begrijpen

Fenomenen alleen zichtbaar als

- 2 referentiestelsels worden vergeleken
- Die tov elkaar bewegen
- Met snelheden die we uit ons dagelijks leven niet kennen
- In contexten zonder zwaartekracht of versnelling

Daarnaast moeten leerlingen redeneren met een absolute lichtsnelheid en in termen van gebeurtenissen.

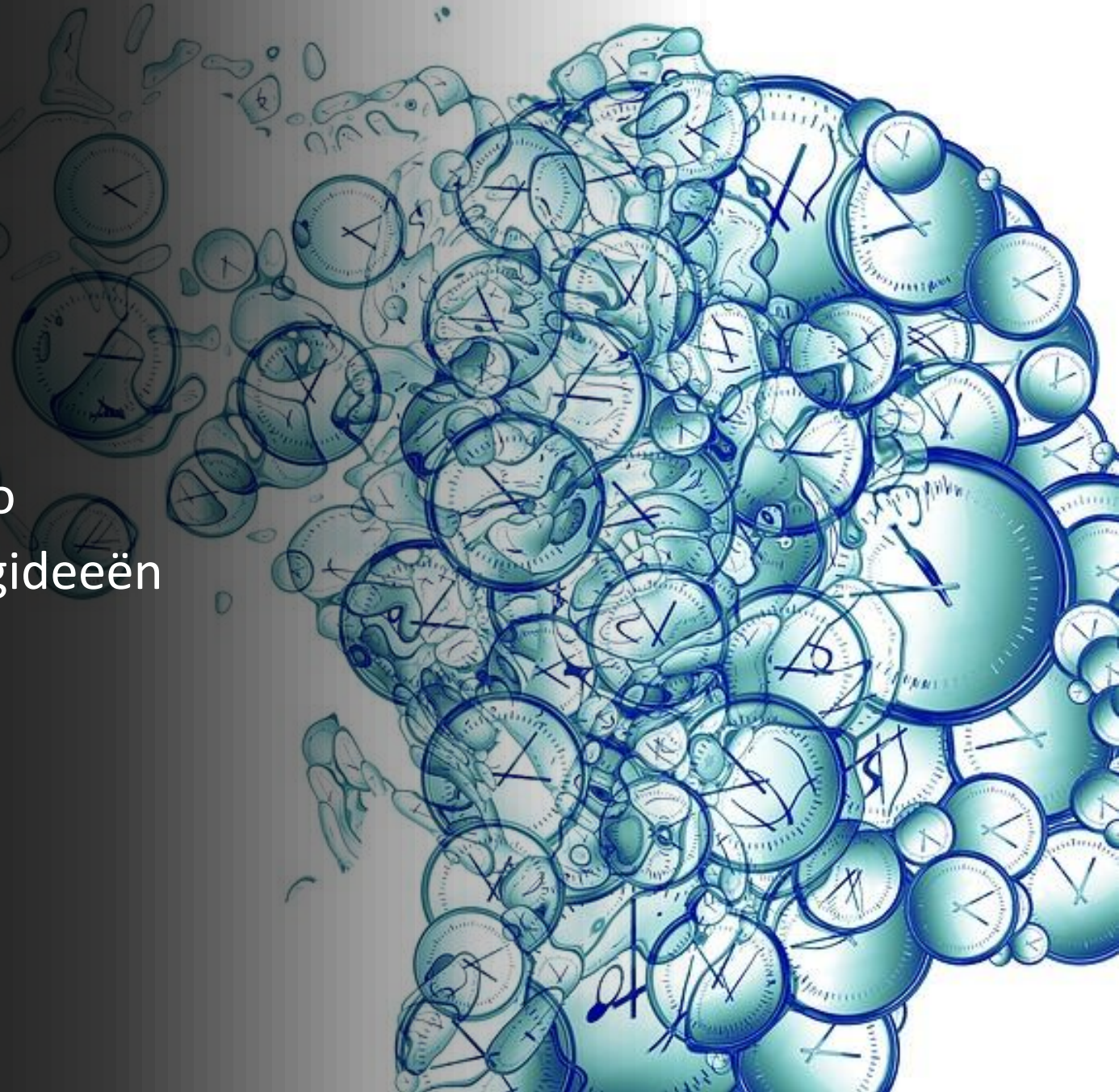
Gedachte-experimenten

Ondersteunen leren door

- redeneren met een 'wat als'-scenario
- Overbruggen de kloof tussen leerlingideeën en abstracte natuurkundebegrippen
- Uitvoeren van 'experimenten' in een geïdealiseerde wereld

Maar:

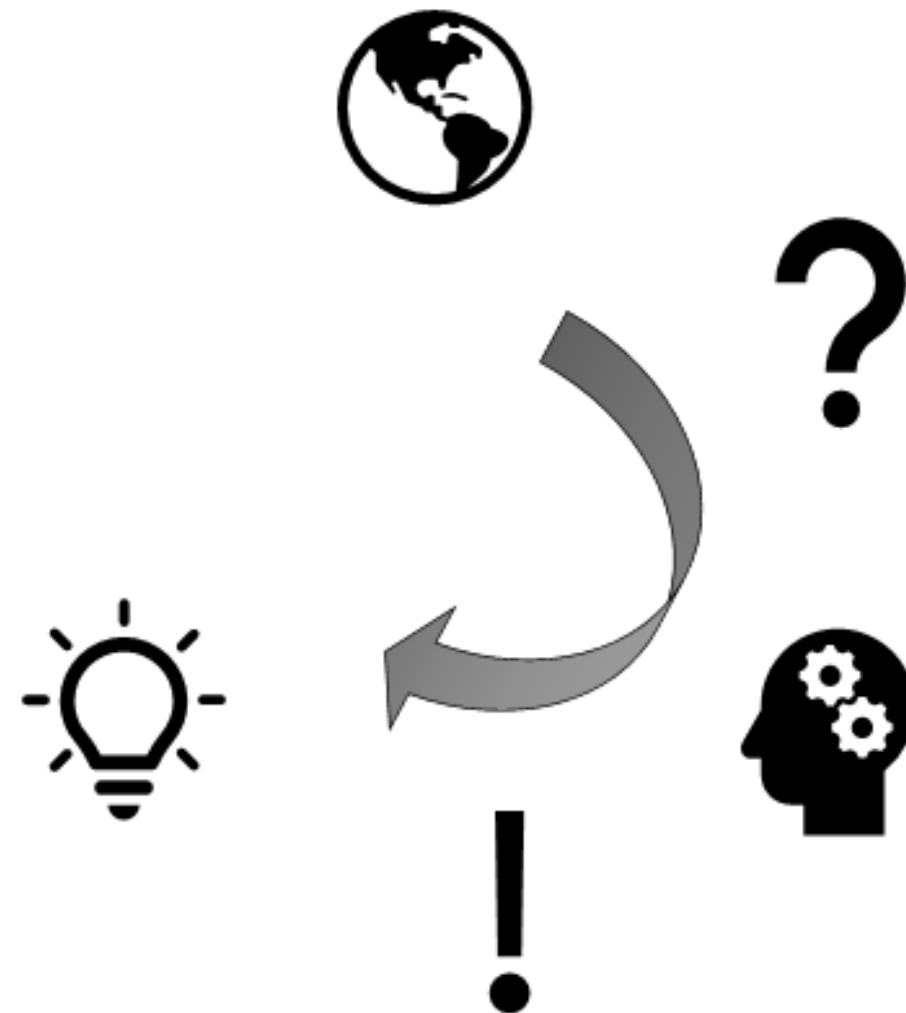
- Vereisen consistent redeneren



5 stappen in een gedachte-experiment

-  Bepalen van de theoretische basis en beschrijving van de geidealiseerde wereld.
-  Centrale vraag stellen.
-  Gedachte-experiment uitvoeren, doorgaans door deductief redeneren vanuit de eerste twee stappen.
-  Verkrijgen van resultaten en het antwoord op de centrale vraag.
-  Reflectie op het hele gedachte-experiment en formuleren van algemene gevolgen.

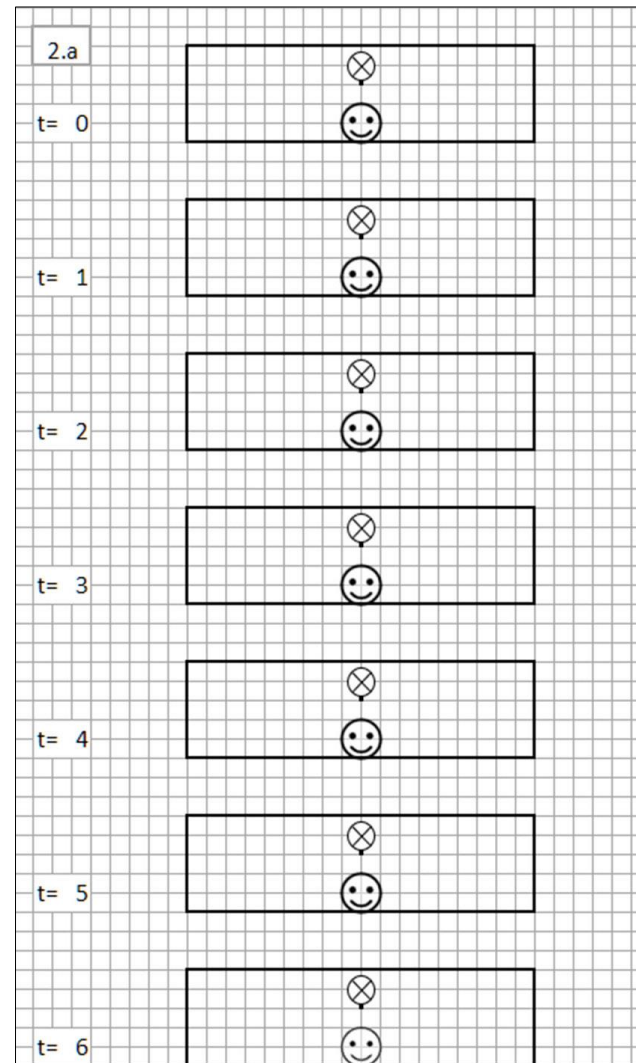
Reiner & Burko (2003).



Gebeurtenisdiagrammen

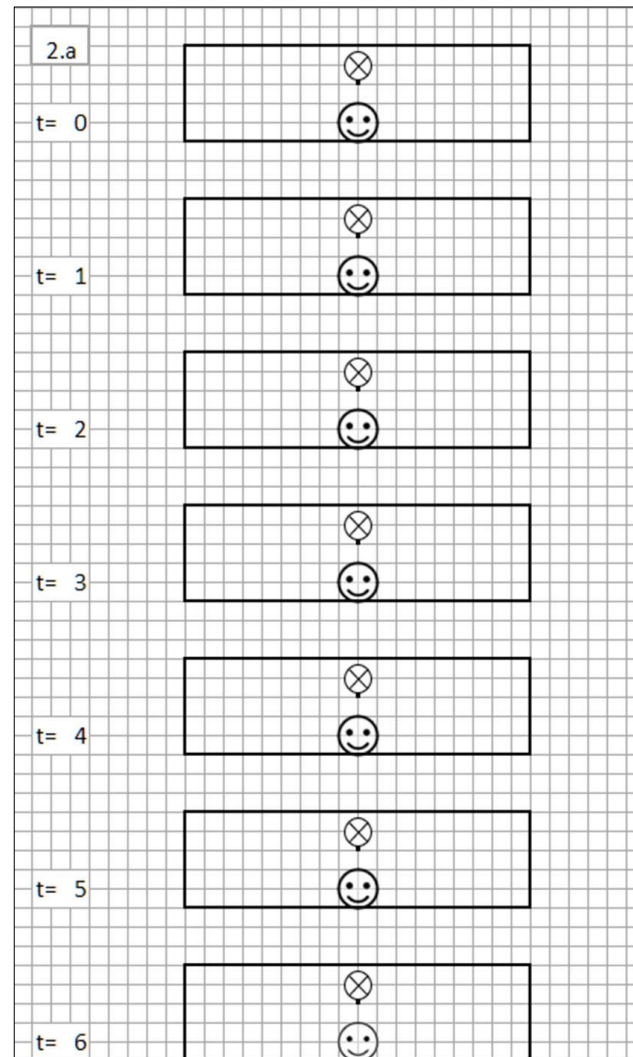
Een vereenvoudigde representatie van ruimtetijd die

- De positie van objecten en gebeurtenissen afbeeld
 - Voor opeenvolgende tijdstippen
 - Vanuit een gegeven referentiekader
-
- Ondersteunt leerlingen met het uitvoeren van gedachte-experimenten
 - En maakt redeneren zichtbaar voor leerlingen en docenten



Gebeurtenisdiagrammen

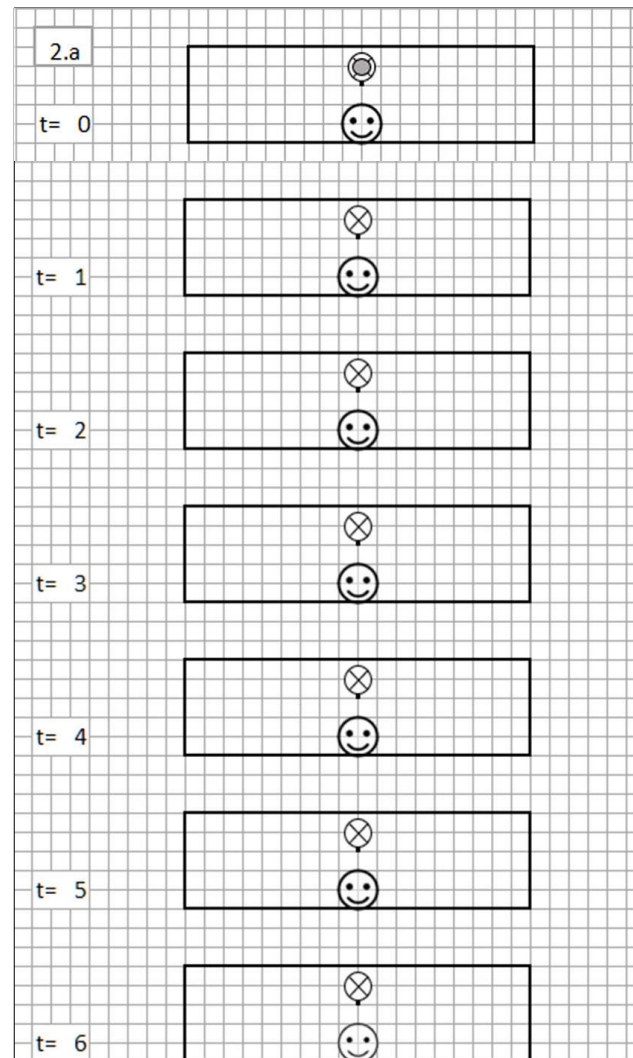
- Waarnemer: smiley
- Lamp: symbool van elektrische schakelingen
- Zelf de lichtflits in het diagram tekenen
- Nieuwe waarde en eenheid voor lichtsnelheid nodig:
- 3 hokjes per tijdstapje



Gebeurtenisdiagrammen

Wat als...

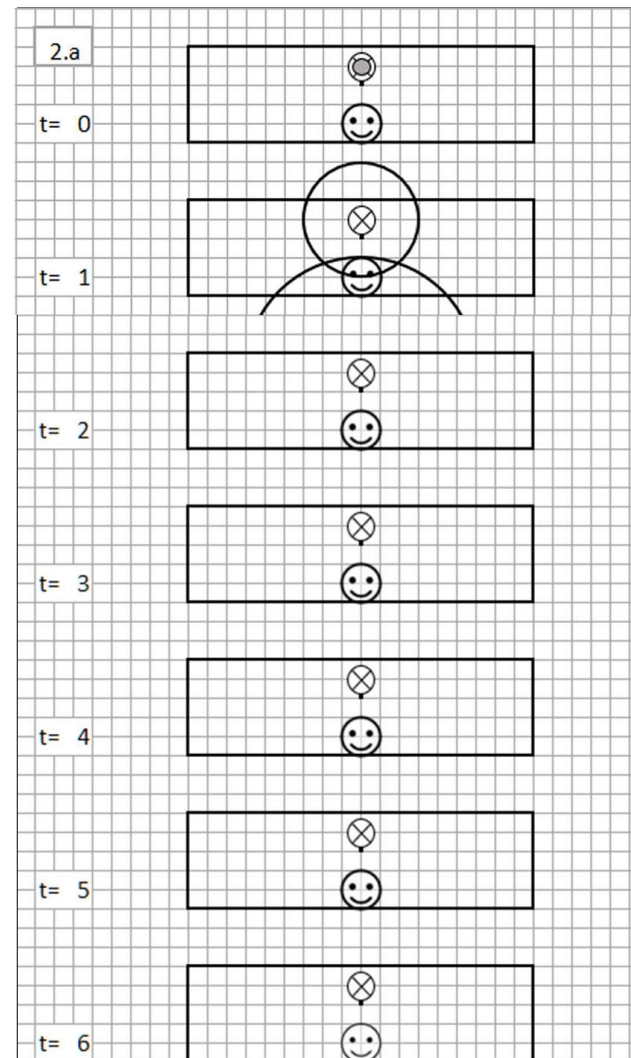
De lamp op $t = 0$ een lichtflits uitzend.
Wanneer komt deze lichtflits dan bij de
zijanten van de kamer aan?



Gebeurtenisdiagrammen

Wat als...

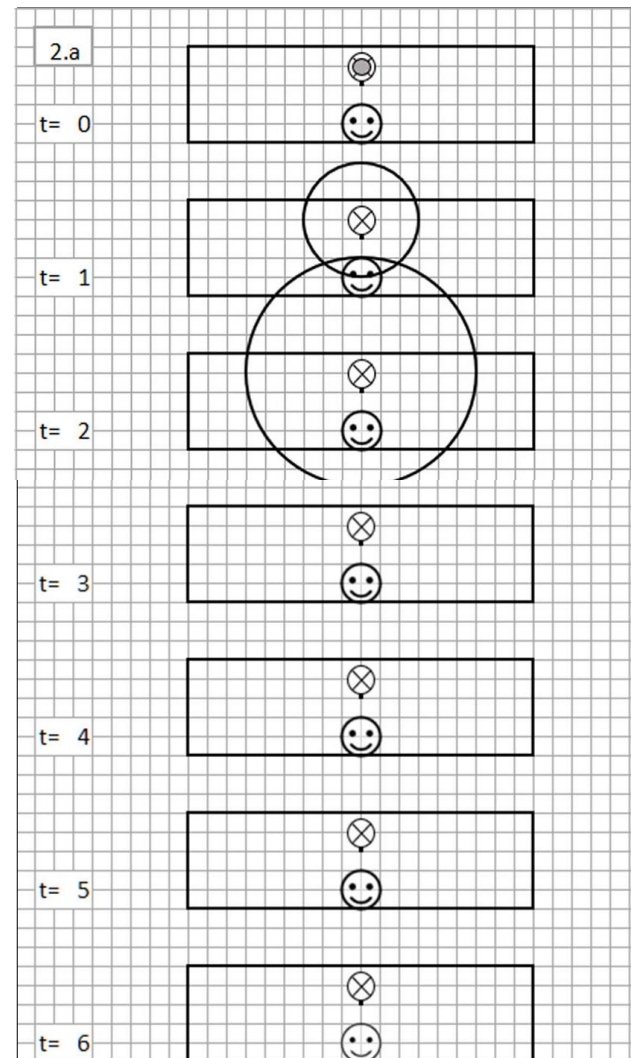
De lamp op $t = 0$ een lichtflits uitzend.
Wanneer komt deze lichtflits dan bij de
zijanten van de kamer aan?



Gebeurtenisdiagrammen

Wat als...

De lamp op $t = 0$ een lichtflits uitzend.
Wanneer komt deze lichtflits dan bij de
zijanten van de kamer aan?

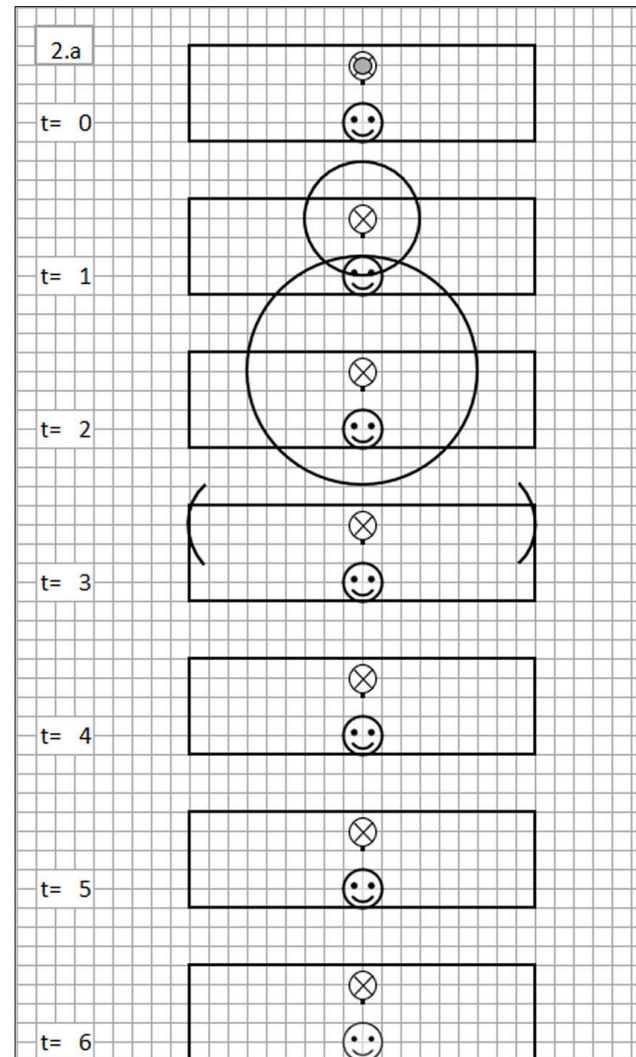


Gebeurtenisdiagrammen

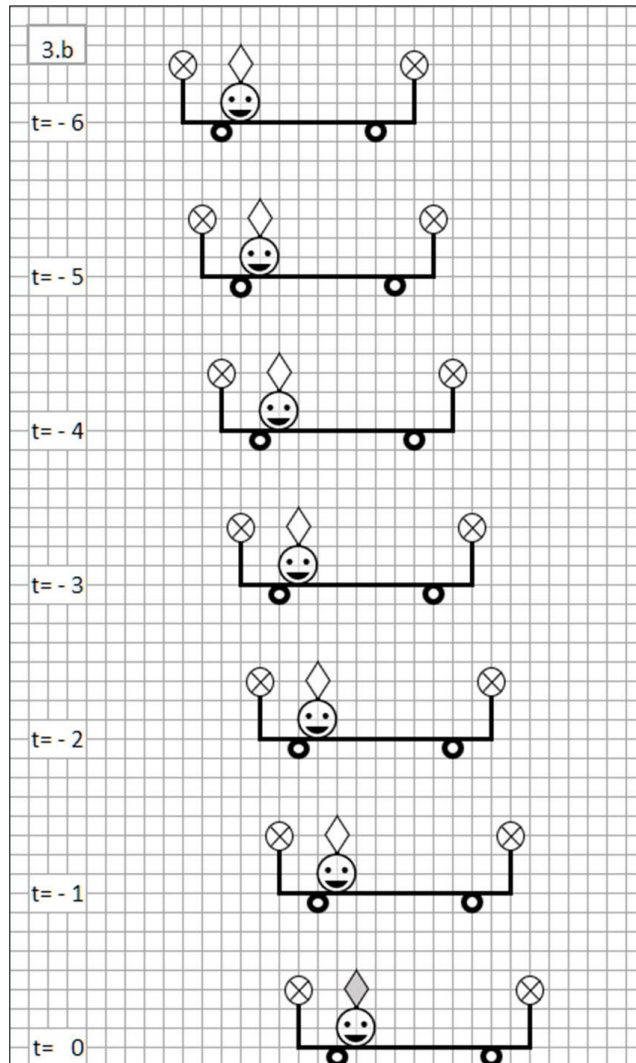
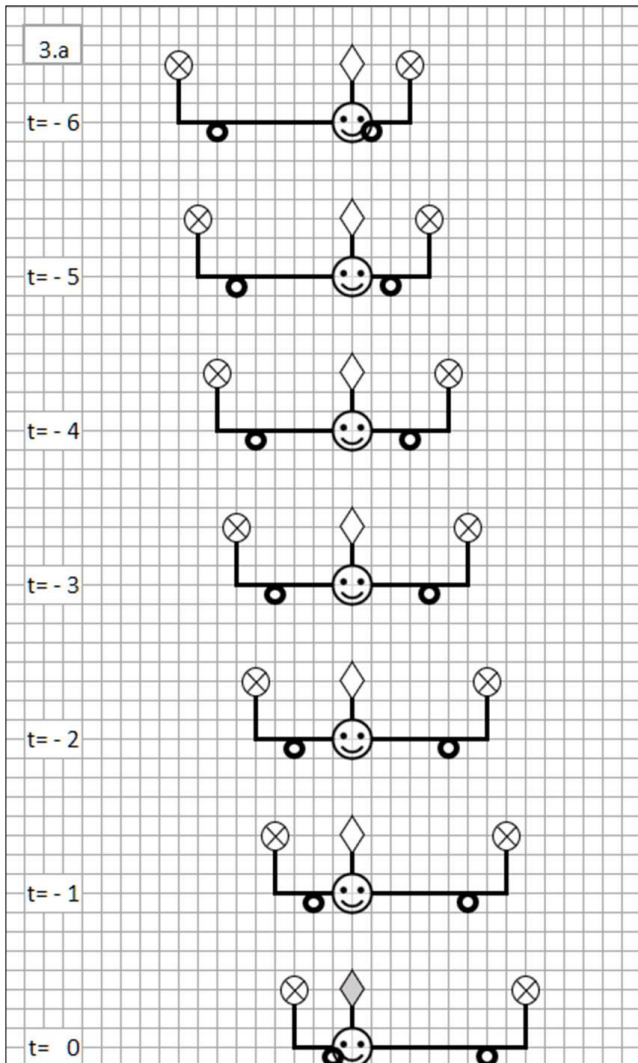
Wat als...

De lamp op $t = 0$ een lichtflits uitzend.
Wanneer komt deze lichtflits dan bij de
zijanten van de kamer aan?

Kan ook met relativistische situaties
waarbij de lamp en de waarnemer ten
opzichte van elkaar bewegen.



GE1: Bewust worden van model lichtvoortplanting



Twee lichtflitsen worden gelijktijdig waargenomen door een waarnemer op tijdstip $t=0$. (Detector grijs)

De flitsen zijn afkomstig van lampen die op een karretje gemonteerd zijn.

Lichtsnelheid: 3 hokjes per tijdstapje.



Wanneer zijn de lichtflitsen uitgezonden door de lampen?

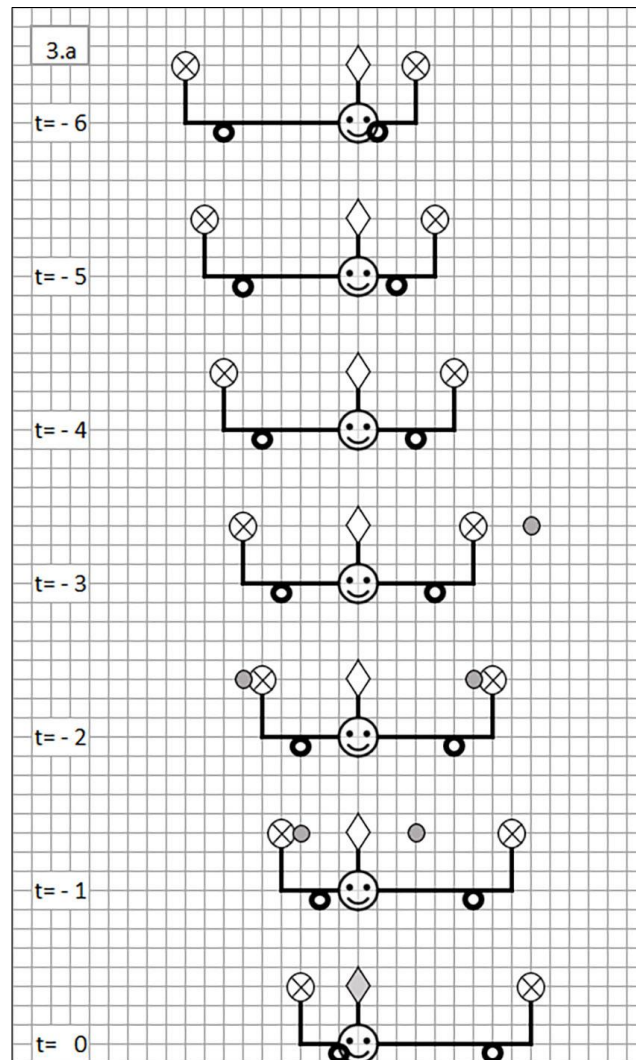
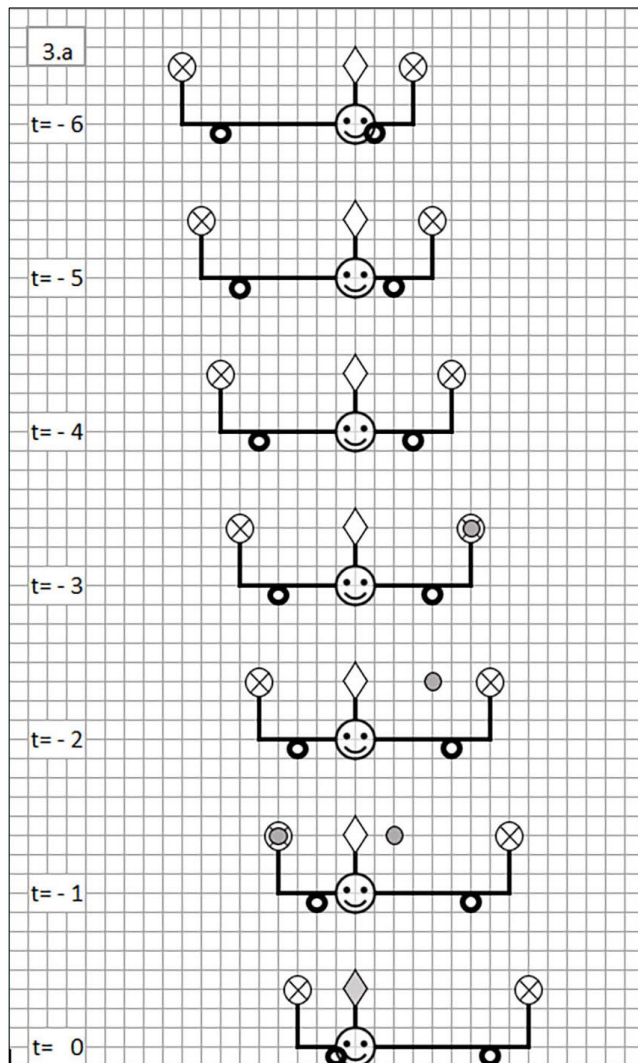


Gebruik diagram 3a en 3b om het antwoord af te leiden.

Reflectie

- Wanneer zijn de lichtflitsen uitgezonden?
- Hoe heb je een constante lichtsnelheid van 3 hokjes per tijdstapje toegepast in de diagrammen?

GE1: Bewust worden van model lichtvoortplanting



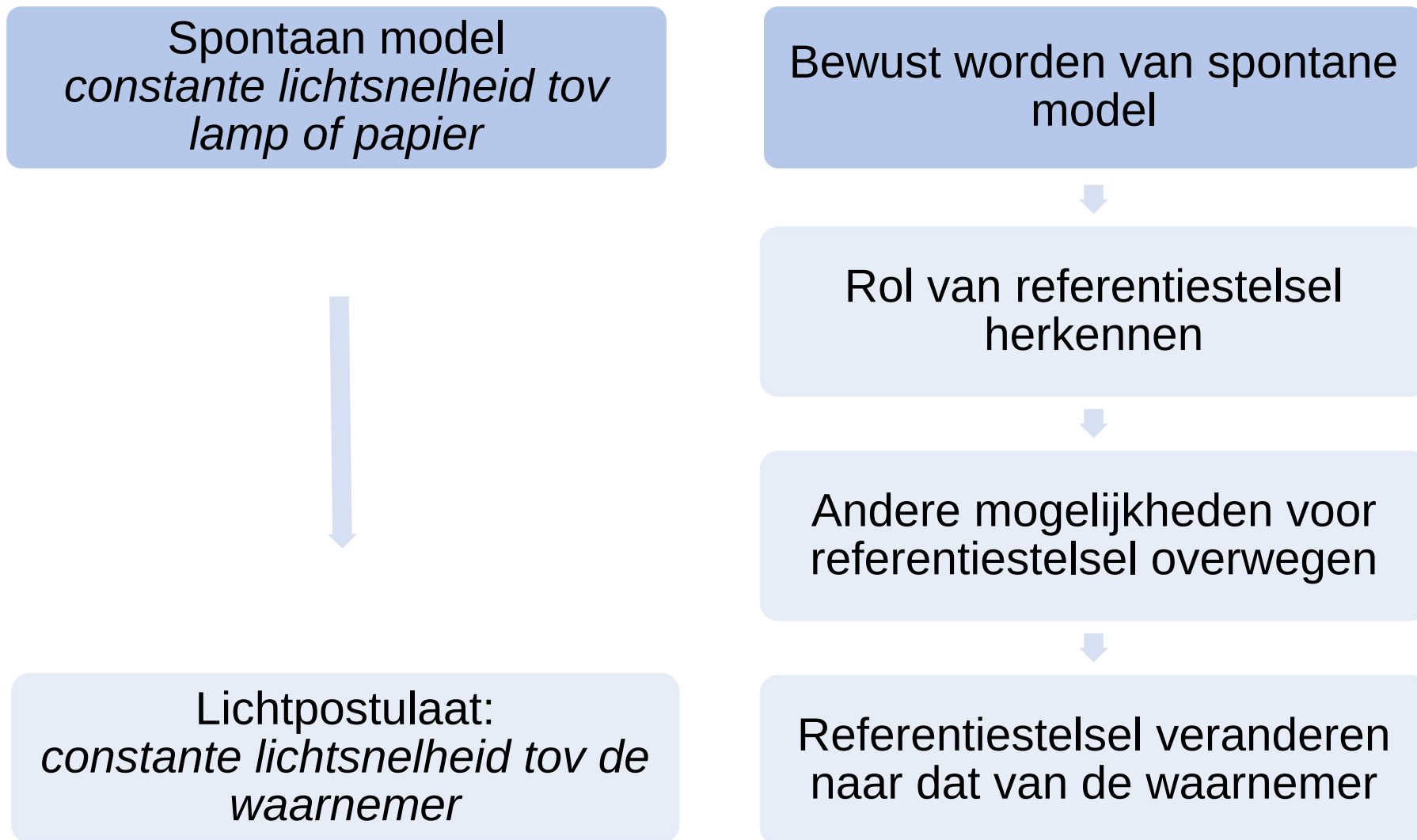
De meeste leerlingen gebruiken een van deze twee spontane lichtvoortplantingsmodellen:

- constante snelheid ten opzichte van de lamp
- constante snelheid ten opzichte van het papier

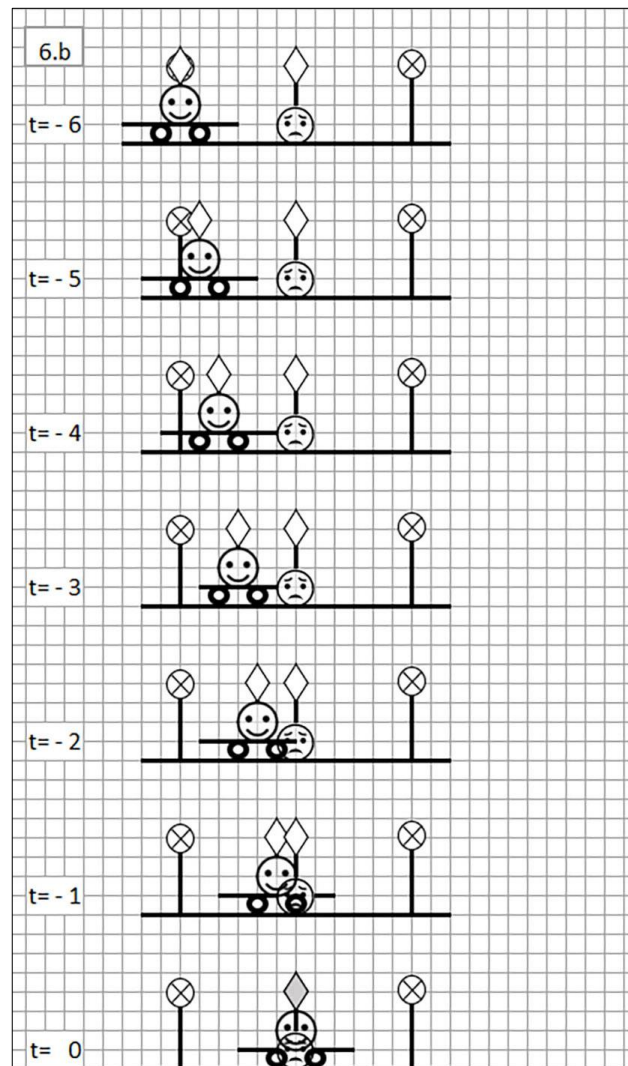
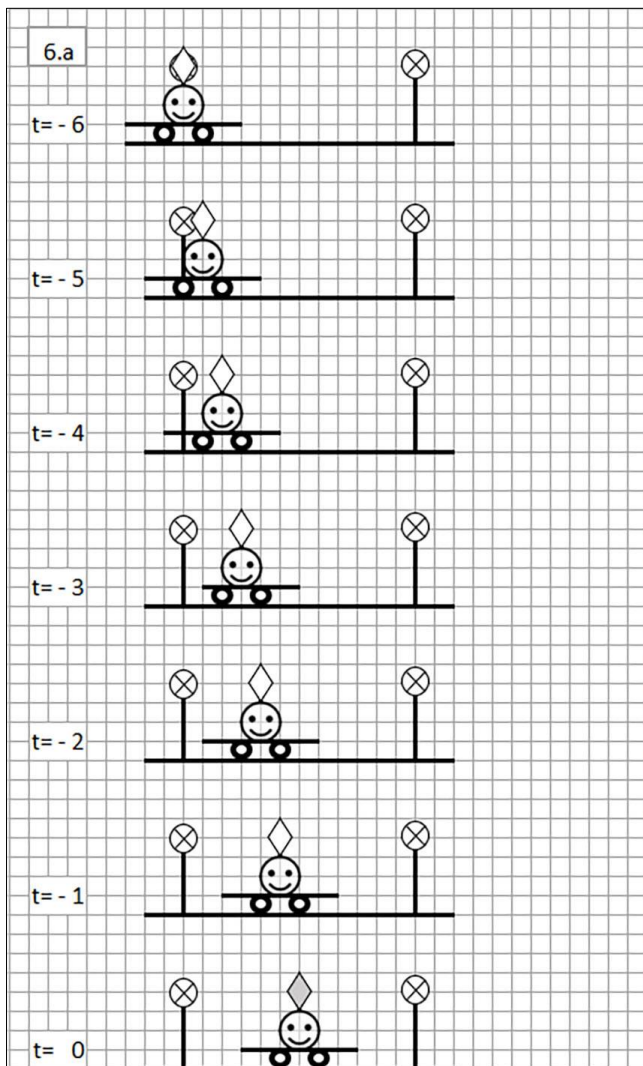


De twee spontane modellen leiden tot verschillende uitkomsten van het gedachte-experiment. Dat kan een aanleiding zijn om het lichtpostulaat te introduceren.

Lichtpostulaat introduceren



GE2: Relativiteit van gelijktijdigheid



Twee lichtflitsen worden gelijktijdig waargenomen door een waarnemer die op een wagentje staat op tijdstip $t=0$. De flitsen zijn afkomstig van twee lampen. Lichtsnelheid: 3 hokjes per tijdstapje tov de waarnemer.

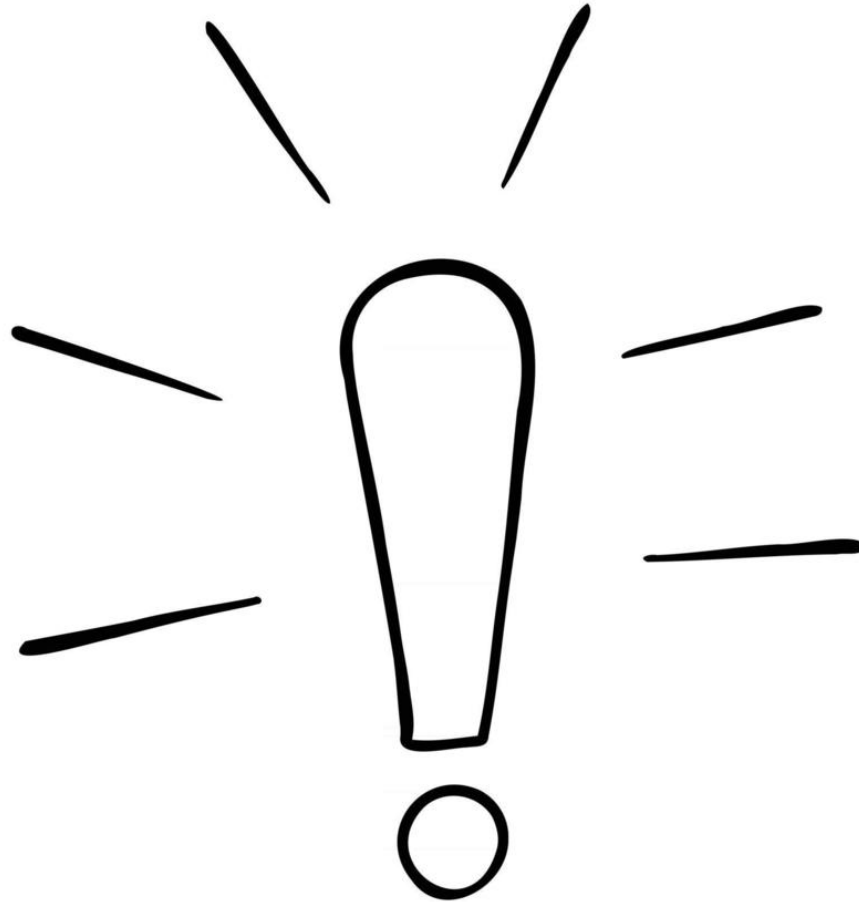


Wanneer zijn de lichtflitsen uitgezonden door de lampen?

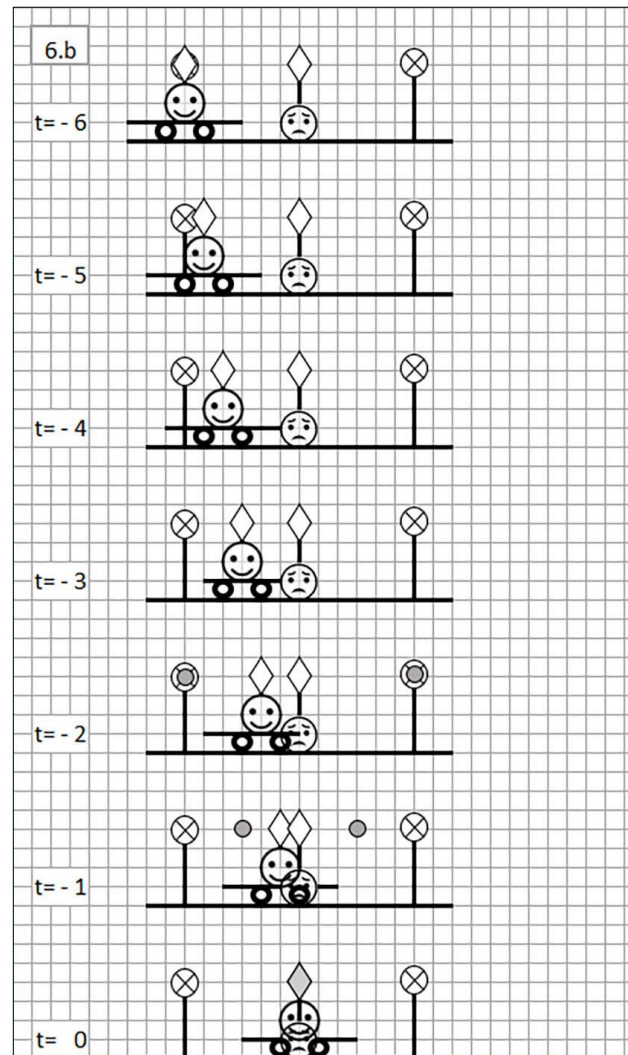
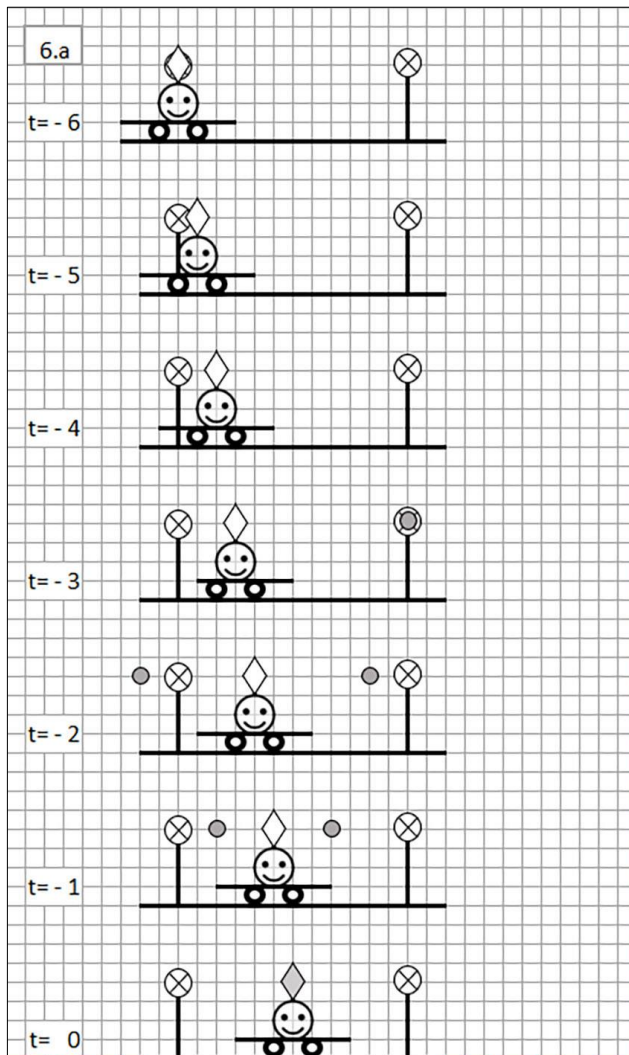


Gebruik diagram 6a en 6b om het antwoord af te leiden.

Wanneer zijn de lichtflitsen uitgezonden?



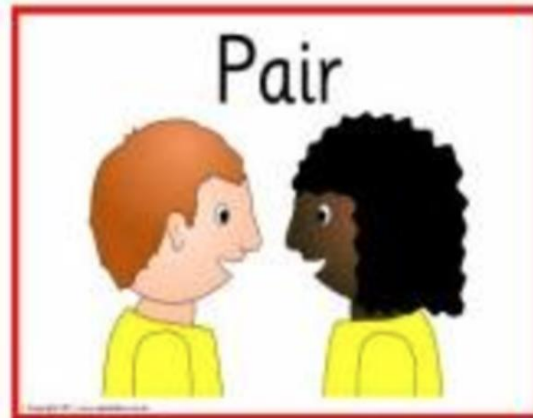
GE2: Relativiteit van gelijktijdigheid



! Voor de waarnemer op het karretje zijn de lichtflitsen uitgezonden tussen $t = -1$ og $t = -2$ voor de linker lamp en op $t = -4$ voor de rechter lamp.

Voor de waarnemer in rust zijn beide lichtflitsen op $t = -2$ uitgezonden.

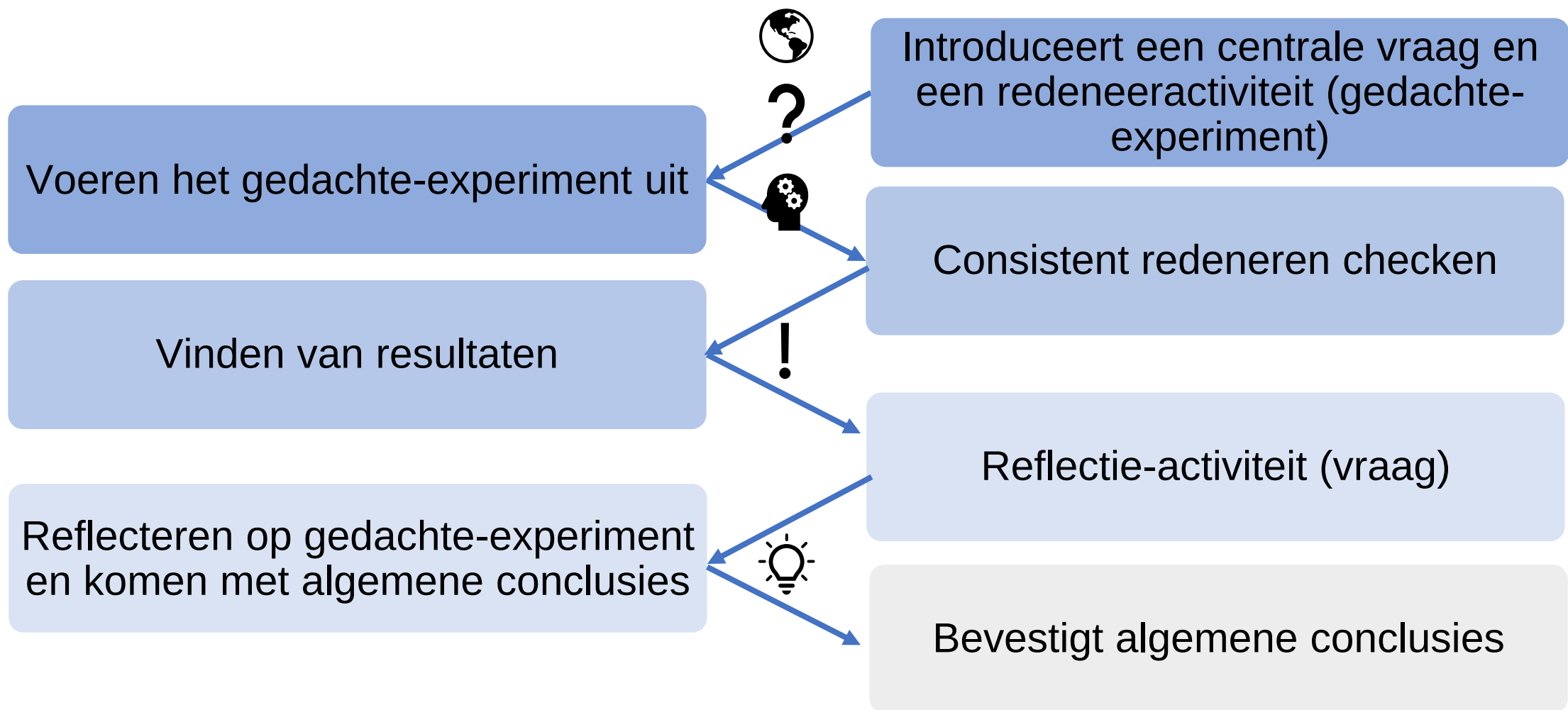
Wat betekenen deze resultaten voor wanneer gebeurtenissen gebeuren?



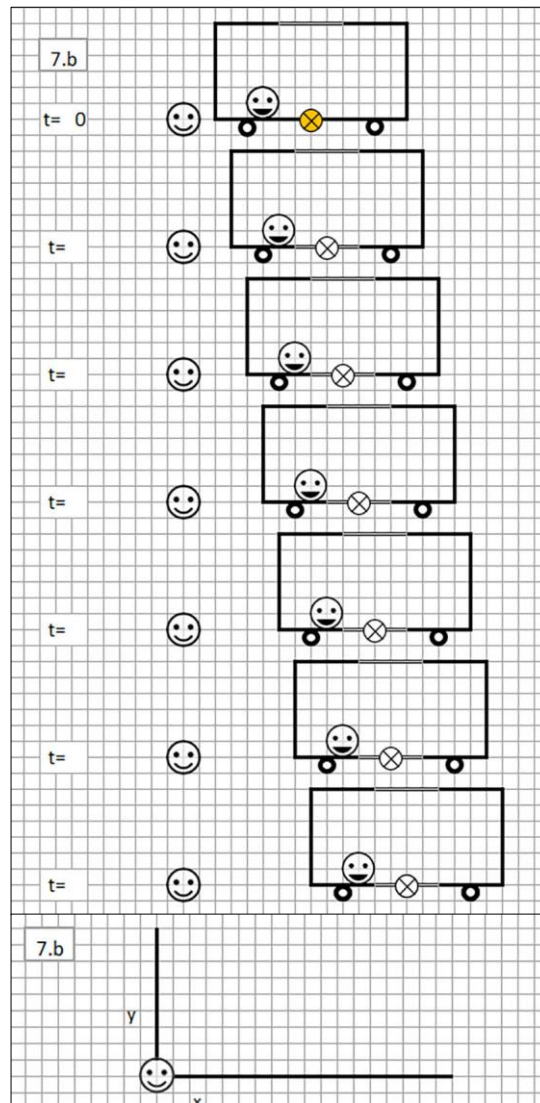
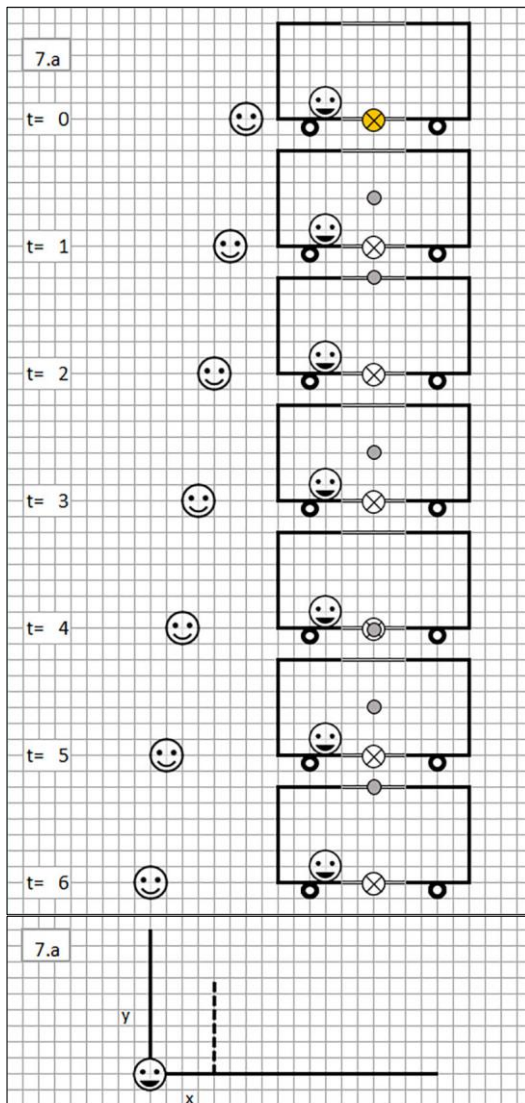
Gedachte-experimenten in de klas

Leerlingen

Docent ondersteund door lesmateriaal



GE3: Tijdrek



Twee waarnemers bestuderen hetzelfde proces: een lichtflits die op en neer kaatst tussen twee spiegels. De spiegels bevinden zich op een karretje, samen met een van de waarnemers. De waarnemers hebben een snelheid ten opzichte van elkaar.

Het proces is eerst weergegeven vanuit de waarnemer die in rust is ten opzichte van de spiegels. Deze waarnemer zegt dat het proces 6 tijdstapjes duurt.



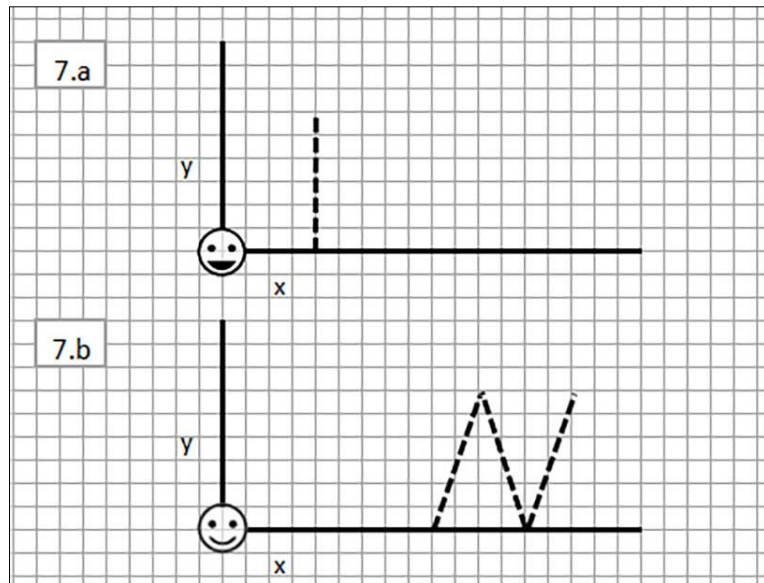
Hoe lang doet de lichtflits erover om tussen de spiegels op en neer te kaatsen voor de waarnemer die de wagen voorbij ziet rijden?



Gebruik diagram 7.b om het antwoord af te leiden.

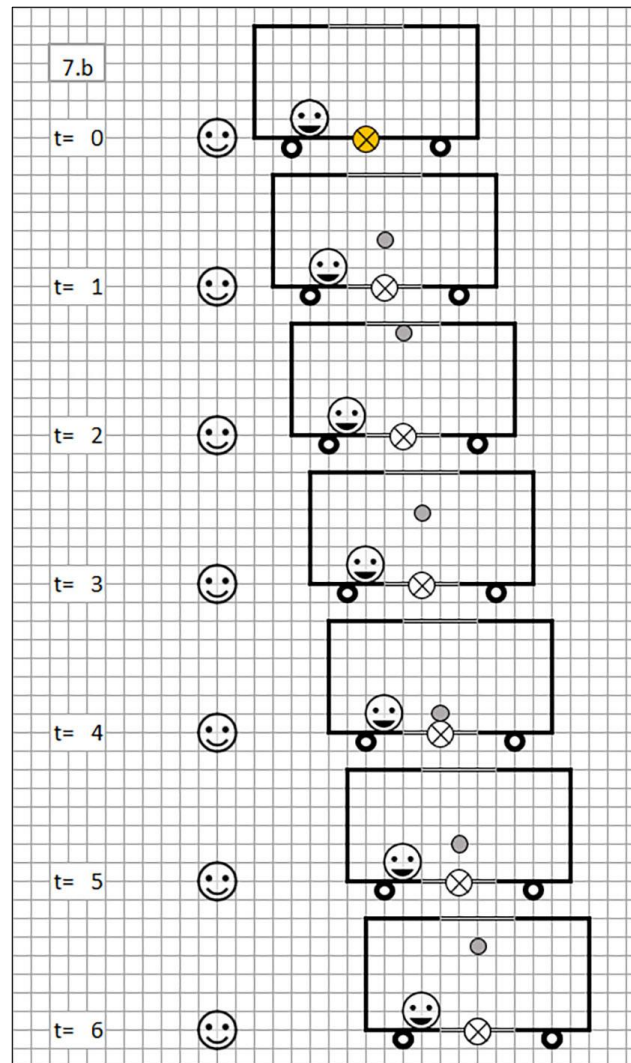
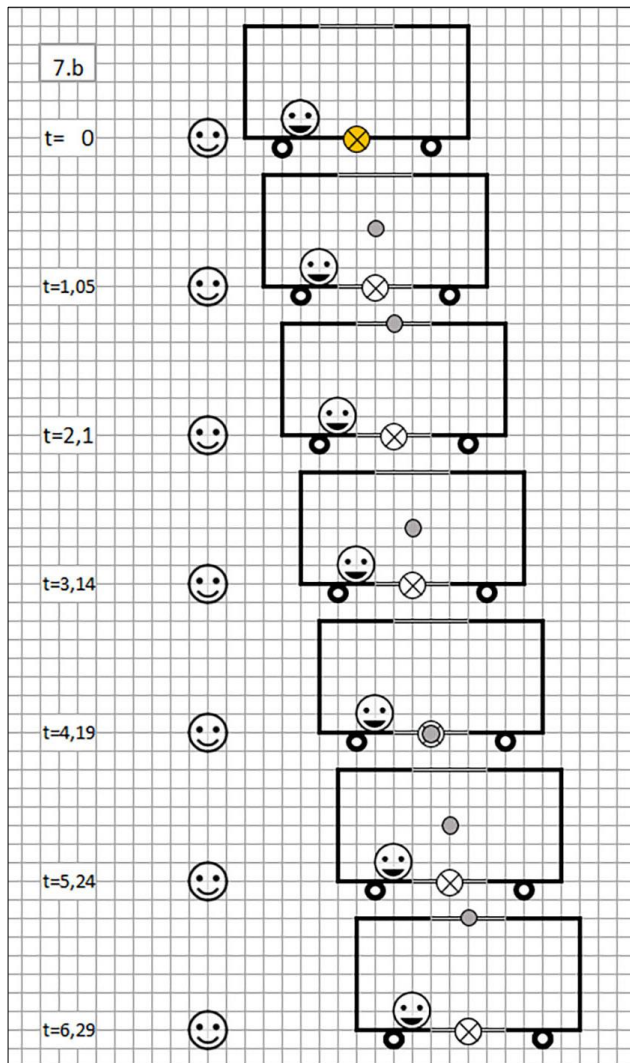
Reflectie

!

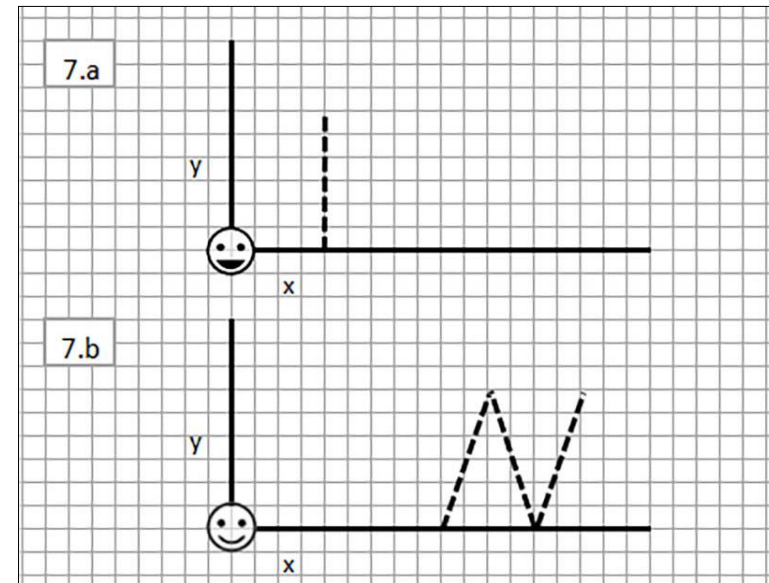


1. Wat is de tijdsduur tussen de twee gebeurtenissen volgens onderzoeker A (7.a)?
2. Meet onderzoeker B (7.b) dezelfde tijdsduur? Leg uit waarom wel/niet en wat het eventuele verschil is met onderzoeker A.
3. Wat verandert er als de relatieve snelheid tussen onderzoeker A en B toeneemt?
4. Wat verandert er als de relatieve snelheid in grootte gelijk blijft, maar in tegengestelde richting gaat?

GE3: Tijdrek

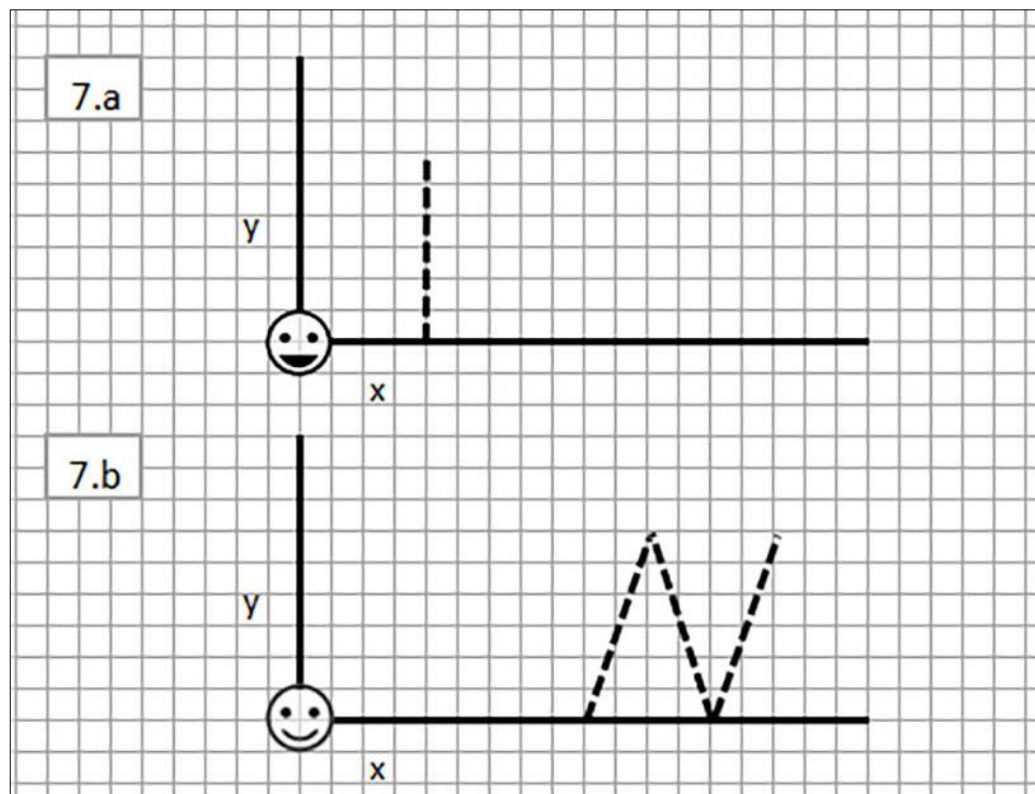


!



Het proces duurt langer voor de waarnemer die naar de bewegende spiegels kijkt, dan voor de waarnemer die naar de spiegels in rust kijkt.

Aanknopingspunt aard van natuurwetenschappen



- Afstand licht opmeten
- Berekenen met pythagoras
- (na afleiding) berekenen met formule voor tijdrek

Leerdoel Relativiteit

«De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.» (Natuurkunde VWO, Syllabus centraal examen 2022)



Hoofdboodschap

- 1) Het redeneerproces in gedachte-experimenten blijft vaak verborgen bij hun presentatie.
- 2) Dat redeneren zou expliciet gemaakt moeten worden en leerlingen hebben ondersteuning nodig bij het zelf uitvoeren van gedachte-experimenten.
- 3) Daarmee wordt het ook mogelijk om je onderwijs te koppelen aan leerling-ideeën over centrale begrippen in de theorie.

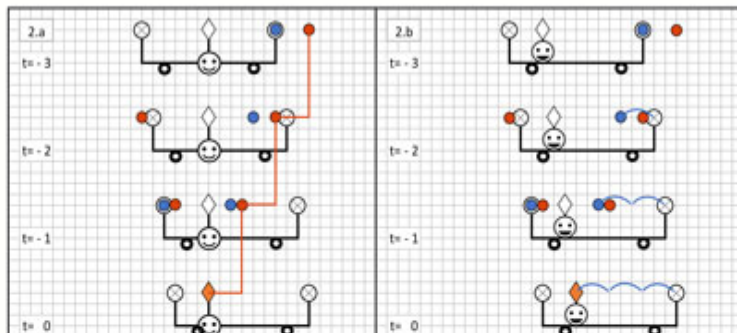
Lesmateriaal: <https://www.fisme.science.uu.nl/toepassingen/28984/>



Relativiteit in de klas

Lesmateriaal ontwikkeld door Floor Kamphorst

| © freudenthal instituut | 99 views | [Home](#) |



Dit lesmateriaal is ontwikkeld voor het onderwerp Relativiteit waarbij leerlingen ook een correct beeld kunnen krijgen van natuurkunde als wetenschap. Een van de aspecten daarbij is dat leerlingen ervaren dat de relativiteitstheorie fenomenen uitlegt die daarvoor niet uitgelegd konden worden. Daarmee kunnen leerlingen de noodzaak voor deze nieuwe natuurkundige theorie in zien. De achterliggende didactische gedachte is dat leerlingen zich nieuwe begrippen en theorieën gemakkelijker eigen maken als ze zelf hebben ervaren dat ze er niet meer uitkomen met wat ze al weten. Dit lesmateriaal is ontwikkeld en onderzocht in samenwerking met natuurkundedocenten als onderdeel van het promotieonderzoek van Floor Kamphorst, Universiteit Utrecht. Al het lesmateriaal wordt gedeeld onder een CC-BY-NC-SA licentie.

Algemeen

[Achtergrond \(pdf\)](#).

Les 1 - Hoe kan je beweging beschrijven?

Over dit lesmateriaal verscheen het artikel Relativiteit in de klas (1) - Relativistisch redeneren in gedachte-experimenten, in NVOX (oktober 2021).

- [Docenthandleiding](#)
- [Leerlingenboekje](#)
- [Powerpoint](#)
- [Uitwerkingen](#)

Les 2 - Hoe beweegt licht?

Les 3 - Wat kunnen we leren van de tekenregelvoorspellingen?

Les 4 - Kan een van de tekenregels worden bevestigd?

Over dit lesmateriaal verscheen het artikel Relativiteit in de klas (2) - Hoe introduceer je een noodzaak voor het lichtpostulaat?, in NVOX (november 2021).

- [Docenthandleiding](#)
- [Leerlingenboekje](#)
- [Powerpoint Les 2](#)
- [Powerpoint Les 3](#)
- [Powerpoint Les 4](#)
- [Uitwerkingen](#)



Bedankt!

Kamphorst, F., Vollebregt, M. J., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2021). An Educational Reconstruction of Special Relativity Theory for Secondary Education. *Science & Education*, 1-44.

<https://www.fisme.science.uu.nl/toepassingen/28984/>

Reiner, M., Burko, L.M. (2003). On the Limitations of Thought Experiments in Physics and the Consequences for Physics Education. *Science & Education*, 12(4), 365–385.

Syllabus Natuurkunde VWO, 2022

