

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



Inhoudsopgave

Inleiding.....	2
1. Hoe kan je beweging beschrijven?.....	7
Leerlingenboekje ‘1. Hoe kan je beweging beschrijven?’.....	9
2. Hoe beweegt licht?.....	18
Leerlingenboekje ‘2. Hoe beweegt licht?’.....	21
3. Wat kunnen we leren van tekenregel-voorspellingen?.....	30
Leerlingenboekje ‘3. Wat kunnen we leren van tekenregel-voorspellingen?’.....	33
4. Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten om het als voortbewegingsmodel voor licht te kunnen gebruiken?.....	45
Leerlingenboekje ‘4. Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten om het als voortbewegingsmodel voor licht te kunnen gebruiken?’.....	48
5. Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?.....	52
Leerlingenboekje ‘5. Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?’.....	54
6. Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?.....	62
Leerlingenboekje ‘6. Wat zijn de gevolgen voor plaats en tijd van het lichtpostulaat?’ ..	64
7. Wat is er aan de hand met tijdsduur?.....	73
Leerlingenboekje ‘7. Wat is er aan de hand met tijdsduur?’.....	76
8. Met welke formule kunnen we de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 1 uitdrukken in de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 2?.....	84
Leerlingenboekje ‘8. Met welke formule kunnen we de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 1 uitdrukken in de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 2?’.....	87
9. Wat betekent dit allemaal voor metingen in de natuurkunde?.....	90
Leerlingenboekje ‘9. Wat betekent dit allemaal voor metingen in de natuurkunde?’.....	93

Inleiding

Het verklaren van relativistische verschijnselen staat centraal in het leerdoel van SRT zoals dat verwoord is in het curriculum: “De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.” (College voor Toetsen en Examens, 2018). Om dit doel te bereiken ligt een conceptuele benadering voor de hand, waarbij leerlingen ook kennis kunnen maken met de centrale manier van denken van de theorie: het uitvoeren van gedachte-experimenten.

Daarvoor moeten leerlingen kunnen redeneren met het lichtpostulaat. Verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat het heel lastig is voor leerlingen om dat te gaan doen. Na standaard onderwijs, waarin het lichtpostulaat vaak als een soort definitie wordt geponeerd, kunnen leerlingen het lichtpostulaat wel reproduceren, maar gebruiken vervolgens een spontaan lichtvoortplantingsmodel als ze ermee moeten redeneren. Aansluiten bij leerlingideeën tijdens de introductie van het lichtpostulaat kan voorkomen dat leerlingen terugvallen naar zo’n spontaan model.

Het lichtpostulaat stelt dat “licht zich door de lege ruimte altijd voortplant met snelheid c , onafhankelijk van de bewegingstoestand van de lichtbron.” (Einstein 1905/2005) Leerlingen redeneren met een constante lichtsnelheid ten opzichte van de lichtbron of ten opzichte van een absolute ruimte (Kamphorst, Savelsbergh, & Vollebregt, 2019). Om te gaan redeneren met het lichtpostulaat moeten leerlingen het referentiekader van hun spontane model dus veranderen naar dat van de waarnemer. Dat zullen leerlingen niet uit zichzelf doen. De volgende inzichten kunnen leerlingen een noodzaak voor een nieuw lichtvoortplantingsmodel laten ervaren:

1. lichtvoortplanting is altijd ten opzichte van een referentiekader,
2. Er zijn verschillende mogelijkheden voor dit referentiekader,
3. Voorspellingen met lichtvoortplanting hangen af van de keuze voor dit referentiekader, en
4. Hun huidige redeneren leidt tot verkeerde of inconsistente voorspellingen.

Om vervolgens ook daadwerkelijk het lichtpostulaat te gaan gebruiken en daar productief mee te redeneren, is het nodig dat leerlingen:

5. Hun referentiekader voor lichtvoortplanting veranderen naar dat van de waarnemer,
6. ervaren dat dit nieuwe lichtvoortplantingsmodel het probleem oplost met hun spontane model, en
7. De gevolgen van dit nieuwe model verkennen.



Deze lessenserie neemt het spontaan redeneren met lichtvoortplanting van leerlingen als uitgangspunt. Vanuit deze positie zijn leeractiviteiten ontwikkeld waarmee leerlingen de noodzaak voor het lichtpostulaat ontdekken, dat leren toepassen en daarmee redeneren om relativistische verschijnselen af te leiden.

De lessenserie is cyclisch opgebouwd. Er wordt eerst een lesvraag opgeroepen. Vervolgens gaan leerlingen met een redeneertaak aan de slag die hen in staat stelt om zelf een antwoord op de vraag te formuleren (fase 1). Op de uitkomst van de redeneertaak wordt individueel, in duo's (fase 2) en vervolgens op klassenniveau gereflecteerd. Zo wordt de lesvraag beantwoord (fase 3). In het klassengesprek wordt ook de lesvraag voor de volgende les opgeroepen (fase 4). Een verdere uitwerking van de lesopbouw is weergegeven in Figuur 1.

Het uitgangspunt in de lessen is steeds dat leerlingen voordat ze een nieuwe manier van denken moeten adopteren, ervaren hebben dat hun huidige manier van denken niet meer voldoet. Daarbij worden plausibele ideeën van leerlingen gevolgd.

Totstandkomen lesmateriaal

Deze lessenserie is tot stand gekomen in het kader van het promotieonderzoeksproject 'Relativiteit in de klas', uitgevoerd door Floor Kamphorst. De leeractiviteiten zijn experimenteel getest met kleine groepjes leerlingen. De resultaten van deze ontwikkelronde zijn gebruikt om de leeractiviteiten te verbeteren. Deze ontwikkelronde is twee maal uitgevoerd.

De leeractiviteiten zijn vervolgens aangepast om ook in de context van een klas te kunnen gebruiken. Deze ontwikkelronde is uitgevoerd door een professionele leergemeenschap van 11 natuurkunde-docenten onder leiding van de onderzoeker. De docenten hebben de lessenserie die zo tot stand is gekomen uitgevoerd in hun klassen. De resultaten van deze ontwikkelronde zijn gebruikt om de leeractiviteiten en lessenserie nogmaals te verbeteren.

Ten opzichte van het lesmateriaal gebruikt in het onderzoek hebben we de nummering van een aantal taken aangepast.

Achtergrond centrale begrippen en werkvormen

Hypothetisch modelleren

Deze lessenserie laat leerlingen hypothetisch modelleren. Hypothetisch modelleren is een denkwijze die in de natuurwetenschappen gebruikt wordt voor zaken die te klein of te groot zijn om je een voorstelling van te maken. Daarbij wordt een principe tijdelijk voor waar aangenomen en worden daar voorspellingen mee gedaan. De evaluatie van die voorspellingen leidt uiteindelijk tot het aannemen of verwerpen van het principe.



In de lessenserie komt hypothetisch modelleren terug door eerst twee verschillende voortbewegingsmodellen voor licht te verkennen (tekenregel 1 en 2), voordat uiteindelijk het lichtpostulaat wordt geïntroduceerd.

Gebruikte werkvormen

Redeneertaken: Gedachte-experiment ondersteund met gebeurtenisdiagram

De redeneertaak waarin leerlingen een antwoord formuleren op de vraag van het gedachte-experiment (fase 1), wordt ondersteund met een externe representatie: het gebeurtenisdiagram. Gebeurtenisdiagrammen zijn een representatie van ruimtetijd waarin een reeks plaatjes de positie van objecten en gebeurtenissen toont voor opeenvolgende tijdstippen vanuit een specifiek referentiekader. Door deze wijze van afbeelden kan er een snelheid worden toegekend aan objecten en lichtflitsen in de eenheid 'hokje per tijdstapje'. Leerlingen kunnen in gebeurtenisdiagrammen redeneren met beweging van objecten en licht door de positie van dat object of de lichtflits voor elk tijdstapje te tekenen.

Voordat leerlingen op de uitkomst van de redeneeractiviteit reflecteren, wordt deze nagekeken.

Reflectietaken

In deze lessenserie spelen twee werkvormen een prominente rol. Leerlingen reflecteren op de lesactiviteiten (fase 2) aan de hand van reflectievragen. Vervolgens delen ze kort hun ideeën met een klasgenoot. Hierbij wordt de werkvorm 'Denken, Delen, Uitwisselen' gebruikt. Tijdens de denk-fase geeft de docent leerlingen in stilte de tijd (ongeveer 3 minuten) om een antwoord op de reflectievragen te formuleren. De houding van de docent kan hier beschreven worden als a-didactisch: de docent geeft leerlingen de ruimte om zelf een antwoord te formuleren. De deel-fase duurt kort. Deze dient om de eigen gedachten kort te vergelijken met die van een ander, discussie is in deze fase nog niet het doel.

Klassengesprek

De Uitwissel-fase krijgt gestalte in de vorm van een klassengesprek (fase 3). Hier haalt de docent verschillende leerling-denkbepelden naar voren. De rol van de docent is hier didactisch: de docent begeleidt de klassendiscussie en stelt vragen om zo met de klas uiteindelijk de lesvraag te beantwoorden. De houding van de docent is hier nieuwsgierig naar leerlingantwoorden en de redenering daarachter, en normerend: wat is uiteindelijk (voor nu) het juiste antwoord. Hierbij gaat het niet alleen om leerlingen te voorzien van de eindconclusie, maar ook om ze naar die conclusie toe te begeleiden zodat zij de waarde van die conclusie zelf ook inzien en begrijpen.



Lesmateriaal

Het lesmateriaal bestaat uit een docentenhandleiding, een leerlingenboekje met opgaven en gebeurtenisdiagrammen, ondersteunende presentaties en een nakijkboekje.

Docentenhandleiding

De docentenhandleiding is vormgegeven als hypothetisch leertraject. Dit is een beschrijving van de lesactiviteiten, het handelen van de docent en het beoogde leren van leerlingen. Hierbij is steeds de beginsituatie beschreven vanuit de leerling. Dit geldt ook voor het lesdoel. Dit is zo verwoord dat leerlingen met hun kennis van de voorgaande lessen kunnen begrijpen wat ze gaan leren.

De lesactiviteiten zijn beschreven in termen van docenthandelen (linkerkolom) en (niet-triviaal) leerlinghandelen. Daarmee geeft het hypothetisch leertraject de docent handvatten wat zij/hij kan verwachten in de klas en hoe daarop te acteren.

Het leerlingenboekje is integraal opgenomen in deze handleiding. Daarnaast is er per les een ondersteunende presentatie gemaakt. Deze presentatie is ontwikkeld als houvast voor de leerlingen. Dat betekent dat het docenthandelen alleen volledig beschreven staat in het hypothetisch leertraject. Door powerpoints te delen met de klas kunnen leerlingen gemiste lesstof inhalen. De powerpoints dienen ook als nakijkboekje voor de opdrachten uit het leerlingenboekje. Daarnaast zijn de



Lesvraag

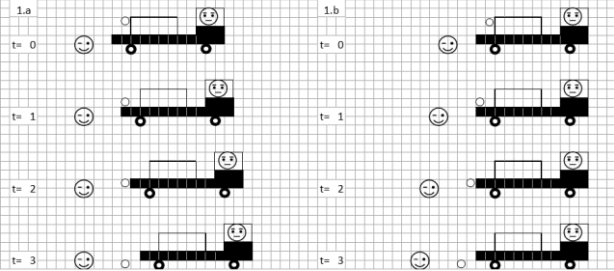
Beginsituatie Beschrijving beginsituatie leerlingen. Deze beginsituatie is het uitgangspunt of de eindsituatie van de voorgaande les. Hier staat dus kort samengevat wat er tot nu toe beoogd is te bereiken met de leerlingen.	
Doel In termen die leerlingen aan het begin van de les al kunnen begrijpen wordt beschreven wat het doel van de les is en over wat voor problemen leerlingen aan het eind van de les kunnen nadenken.	
Activiteiten en docenthandelen	Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)
Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden -beschrijven hoe opdracht in staat stelt om over de vraag na te denken -Beschrijving van het doel van de opdracht, de werkvorm en uitvoering (handleiding voor docent) -Nakijken van de taak	Mogelijke uitkomsten
Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent) -Reflecteren op de taak aan de hand van een reflectievraag	Mogelijke denkbeelden van leerlingen -verwachtingen (niet triviaal) over observeerbaar gedrag.
Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent) -Wat hebben we geleerd over...? Handrijkingen voor docenten om sturing te geven aan socratisch gesprek om tot een definitieve beantwoording van de vraag te komen.	Mogelijke knelpunten bij leerlingen
Fase 4: Consolideren -Docent vat samen wat afgelopen activiteiten hebben opgeleverd. -Welke vraag roept dit op	Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...

Figuur 1: Uitwerking opzet van de lessen.



1. Hoe kan je beweging beschrijven?

Beginsituatie Dit is de start van een nieuw onderwerp. Leerlingen weten nog niet wat er staat te gebeuren.	
Doel In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.	
Activiteiten en docenthandelen	Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)
<p>Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</p> <p>De docent vertelt leerlingen dat de aanpak van dit hoofdstuk anders is dan van andere hoofdstukken. Hierbij benoemt de docent dat er veel denkactiviteiten op het programma staan waarbij leerlingen zelf conclusies moeten trekken. Leerlingen moeten erop vertrouwen dat de docent hen hiermee naar begrip van de speciale relativiteitstheorie leidt.</p> <p>De docent start een Myth Busters filmpje waarin een bal wordt afgeschoten vanaf een rijdende truck. https://www.youtube.com/watch?v=ZH7GpYJoptU</p> <p>Nadat het filmpje bekeken is, benoemt de docent twee belangrijke gebeurtenissen in het filmpje: 1) de bal wordt afgeschoten, en 2) de bal raakt de grond. Daarnaast benoemt de docent dat deze gebeurtenissen vanuit twee posities zijn gefilmd: a) camera op de grond, en b) camera op de truck.</p> <p>De docent introduceert de kijkvraag: Beschrijf vanuit beide cameraposities met de positie van de gebeurtenissen, de afstand tussen de gebeurtenissen en het tijdsinterval tussen de twee gebeurtenissen.</p> <p>De docent start het filmpje voor de tweede keer. Nadat het filmpje is bekeken laat de docent leerlingen 3 minuten individueel nadenken en daarna overleggen over de kijkvraag. De uitkomsten van dit overleg worden (nog) niet klassikaal nabesproken.</p> <p>De docent introduceert Gebeurtenisdiagrammen als hulpmiddel om systematisch over dit soort vragen na te kunnen denken.</p>	<p>Mogelijke uitkomsten</p> <p>Leerlingen bekijken het filmpje. Zijn verbaasd.</p> <p>Leerlingen zien geen verschil in positie. In beide gevallen valt de bal op dezelfde plek op de grond en wordt op dezelfde plek afgeschoten.</p>

<p>Met twee vragen aan de klas over gebeurtenisdiagram 1.1 introduceert de docent hokjes per tijdstapjes als (alternatieve) eenheid voor snelheid en aantal hokjes als (alternatieve) eenheid voor afstand.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bepaal de snelheid van de auto. 2. Bepaal de positie van gebeurtenis 1 t.o.v. de onderzoeker op de grond. <p>De docent laat leerlingen Opdracht 1.1 en 1.2 maken.</p> <p>De docent kijkt Opdracht 1.1 en 1.2 met de klas na.</p>	
<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent) (Opdracht 1.3)</p> <p>De docent laat leerlingen individueel op de uitkomsten van deze opdrachten reflecteren aan de hand van de volgende vragen (3 min):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Wat is voor beide camera's hetzelfde?</i> 2. <i>Wat is voor beide camera's verschillend?</i> <p>De docent geeft leerlingen kort (2 min) de tijd om uit te wisselen met een klasgenoot.</p>	<p>Mogelijke denkbepelden van leerlingen</p>
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>De docent haalt verschillende leerlingenantwoorden naar voren.</p> <p>De docent werkt naar de conclusie toe: <i>De gebeurtenissen zijn ten opzichte van beide camera's hetzelfde; algemeen: gebeurtenissen gebeuren voor iedereen. De positie van een gebeurtenis hangt af van de camera-positie; algemeen: camerapositie heeft invloed op de waardes van grootheden. Snelheid is relatief (altijd ten opzichte van).</i></p>	<p>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</p>
<p>Fase 4: Consolideren</p> <p>De docent herhaalt de conclusie en introduceert de vraag voor de volgende les: Hoe beweegt licht?</p> <p>Leerlingen maken (thuis) consolidatieopdrachten 1.4 t/m 1.8.</p>	



Leerlingenboekje 1. Hoe kan je beweging beschrijven?

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.

Opdracht 1.1: Redeneeropdracht

Gebruik bij deze opdracht de diagrammen 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.

8. Construeer gebeurtenis 2 in de diagrammen door te tekenen. Diagram 1.a is weergegeven vanuit de persoon op de grond, diagram 1.b vanuit de truck.
9. Geef het tijdstip waarop de bal wordt afgeschoten.
10. Geef de positie van gebeurtenis 1.
 - a. Ten opzichte van de persoon op de grond.
 - b. Ten opzichte van de persoon in de truck.
11. Geef de positie van gebeurtenis 2.
 - a. Ten opzichte van de persoon op de grond.
 - b. Ten opzichte van de persoon in de truck.
12. Geef de horizontale snelheid van de bal.
 - a. Ten opzichte van de persoon op de grond.
 - b. Ten opzichte van de persoon in de truck.

Opdracht 1.2: Redeneeropdracht

Beantwoord de volgende reflectievragen:

1. Wat kan je concluderen over de positie van gebeurtenis 2, volgens de verschillende waarnemers in de diagram?
2. Wat kan je concluderen over de horizontale snelheid van de bal, volgens de verschillende waarnemers in de diagram?
3. Wat kan je concluderen over het tijdstip van gebeurtenis 2, volgens de verschillende waarnemers in de diagram?



Opdracht 1.3: Reflectieopdracht

1. Wat is voor beide camera's hetzelfde?
2. Wat is voor beide camera's verschillend?

Opdracht 1.4: Verwerkingsopdracht

1. Teken een diagram van de gebeurtenissen 1 en 2 vanuit het referentiekader van de bal.

Opdracht 1.5: Verwerkingsopdracht

Gebruik bij deze opdracht Diagram 1.c en 1.d

Voer opdracht 1.1 uit in deze nieuwe diagrammen.

Opdracht 1.6: Verwerkingsopdracht

Gebruik bij deze opdracht diagram 1.e en 1.f.

Een lachende passagier op de trein is neergeschoten door een duister kijkende moordenaar. Op het moment dat de passagier geraakt wordt begint deze te huilen. Buiten op het perron staat een verbouwde toeschouwer. De kogel verlaat het geweer met een snelheid van 2 hokjes per tijdstapje.

1. Op welk tijdstip is de kogel afgevuurd?
2. Op welke positie is de kogel afgevuurd?
 - a. volgens de toeschouwer?
 - b. volgens de moordenaar?
 - c. volgens het slachtoffer?
3. Op welke positie wordt het slachtoffer geraakt?
 - a. volgens de toeschouwer?
 - b. volgens de moordenaar?
 - c. volgens het slachtoffer?
4. Wat is de snelheid van de kogel?
 - a. volgens de toeschouwer?
 - b. volgens de moordenaar?
 - c. volgens het slachtoffer?

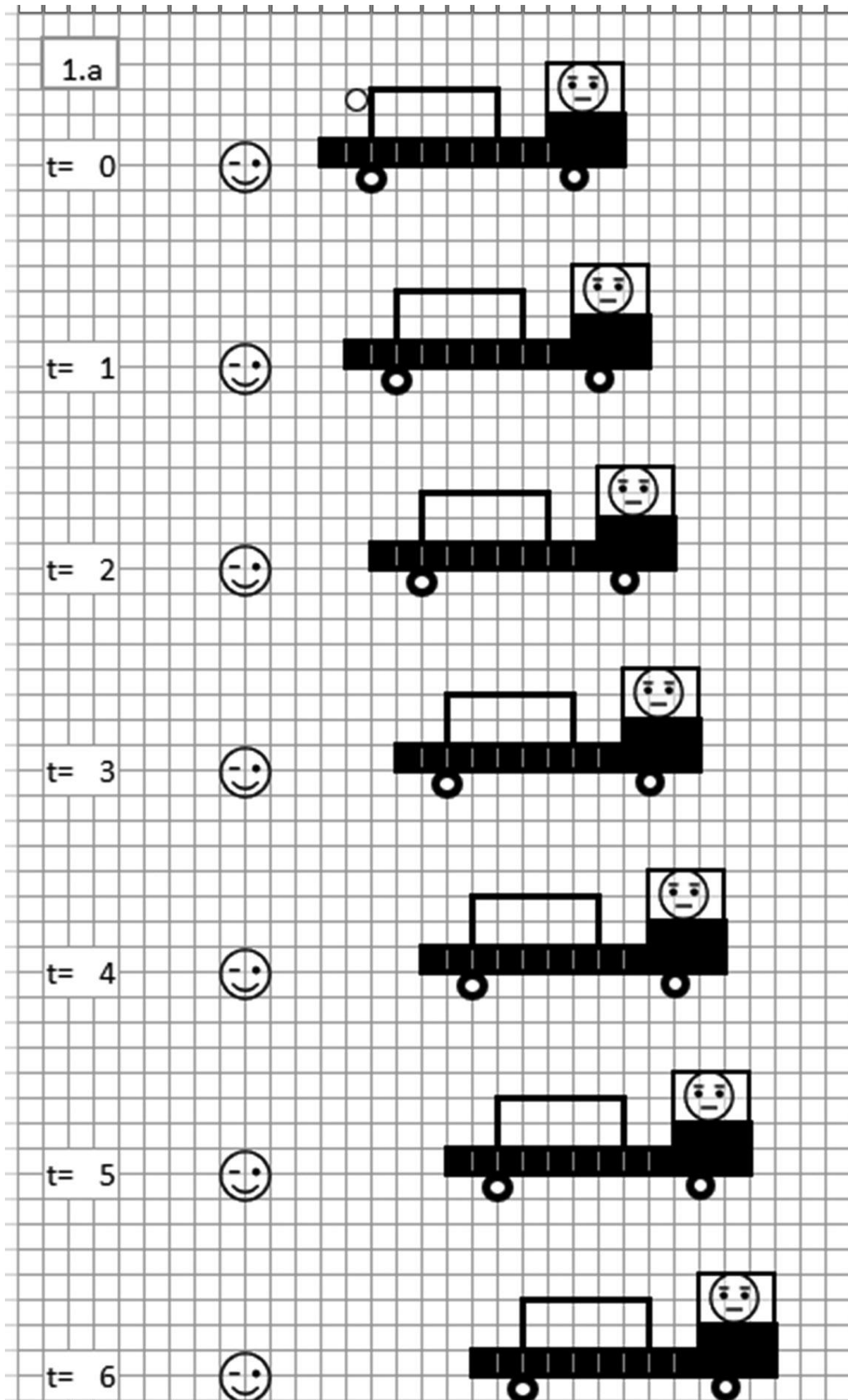
Opdracht 1.7: Verwerkingsopdracht

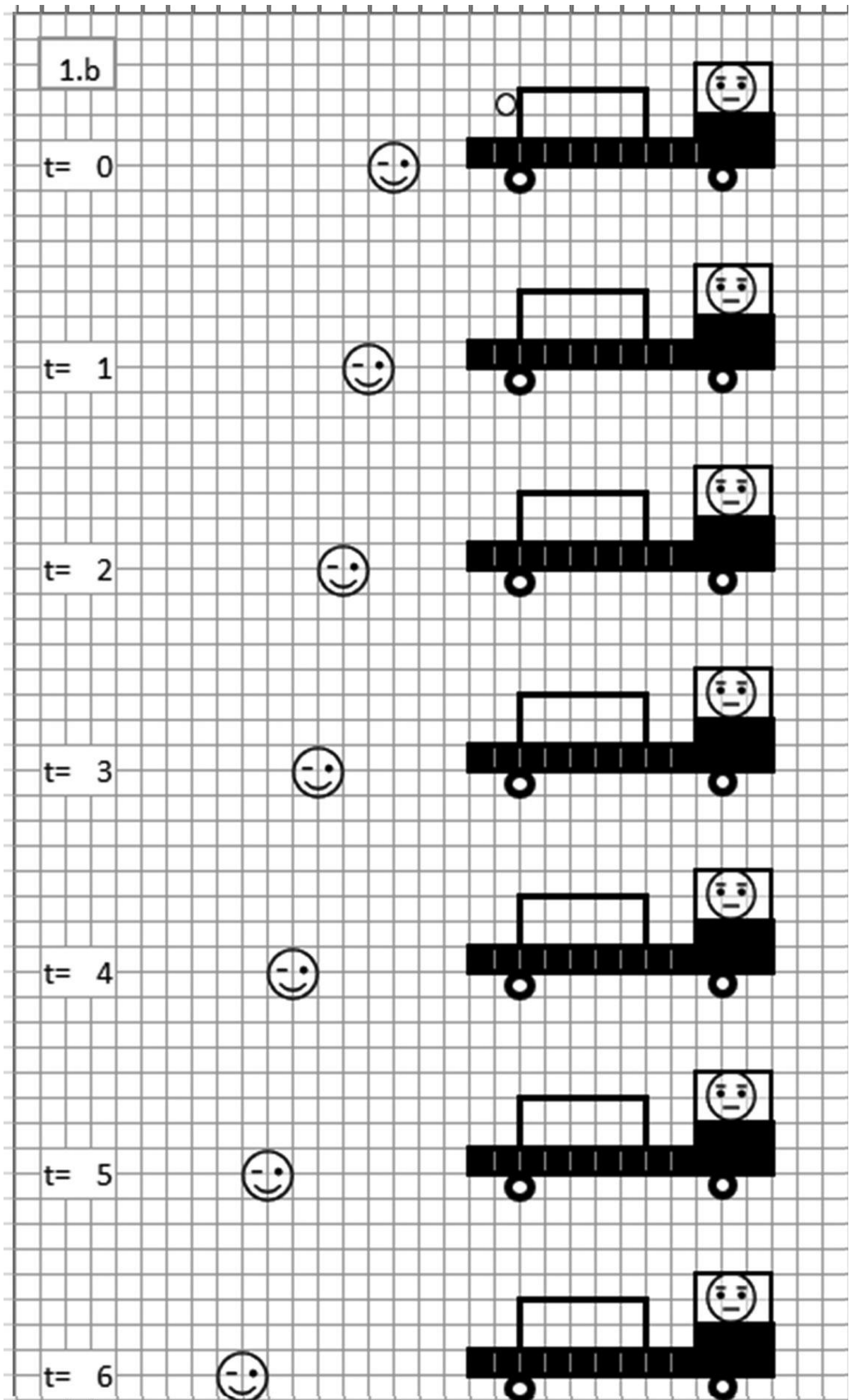
1. Wat kan je concluderen over de positie van de misdaad voor de verschillende waarnemers in het diagram?
2. Wat kan je concluderen over de snelheid van de kogel voor de verschillende waarnemers in het diagram?
3. Wat kan je concluderen over het tijdstip van de misdaad voor de verschillende waarnemers in het diagram?

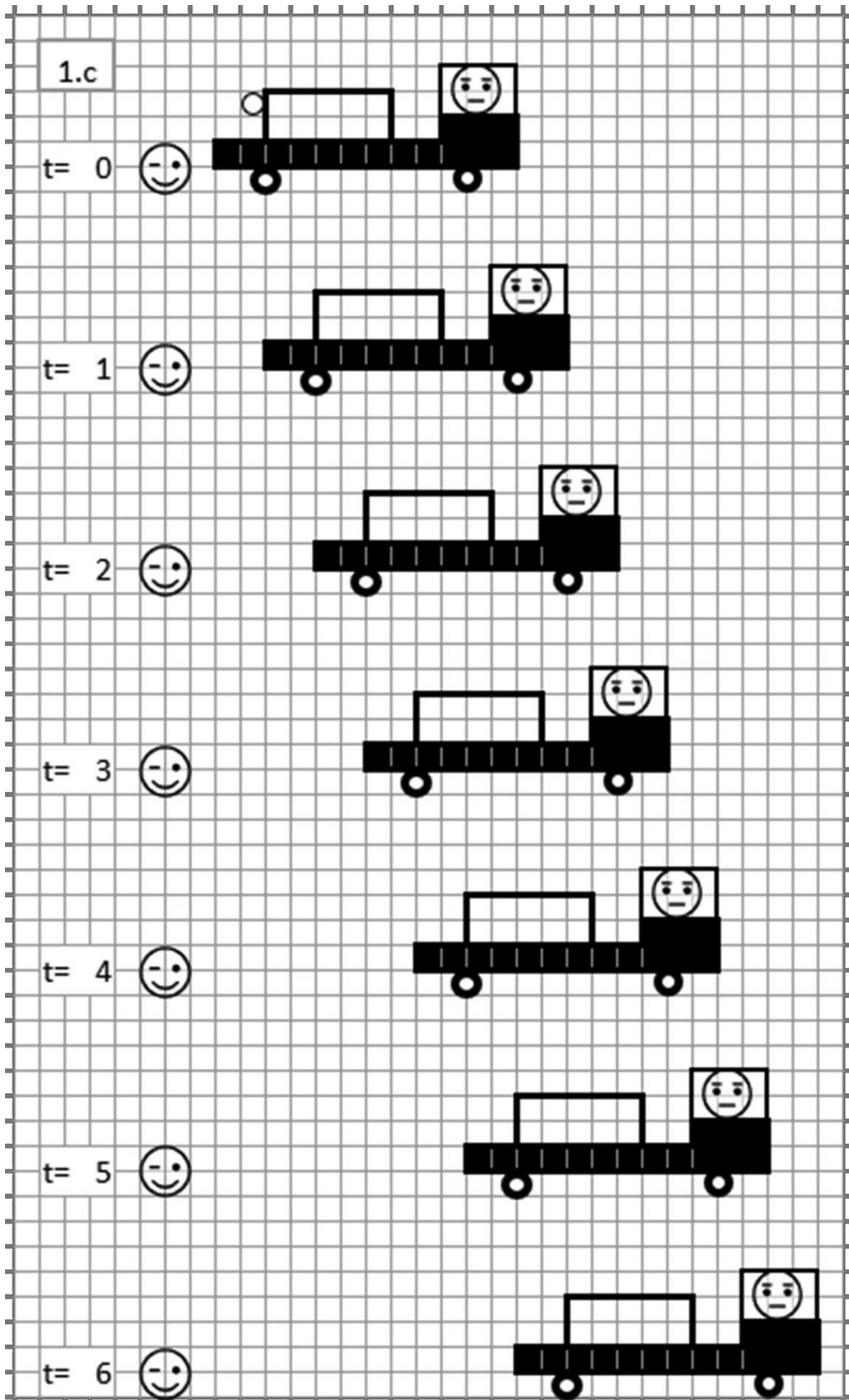


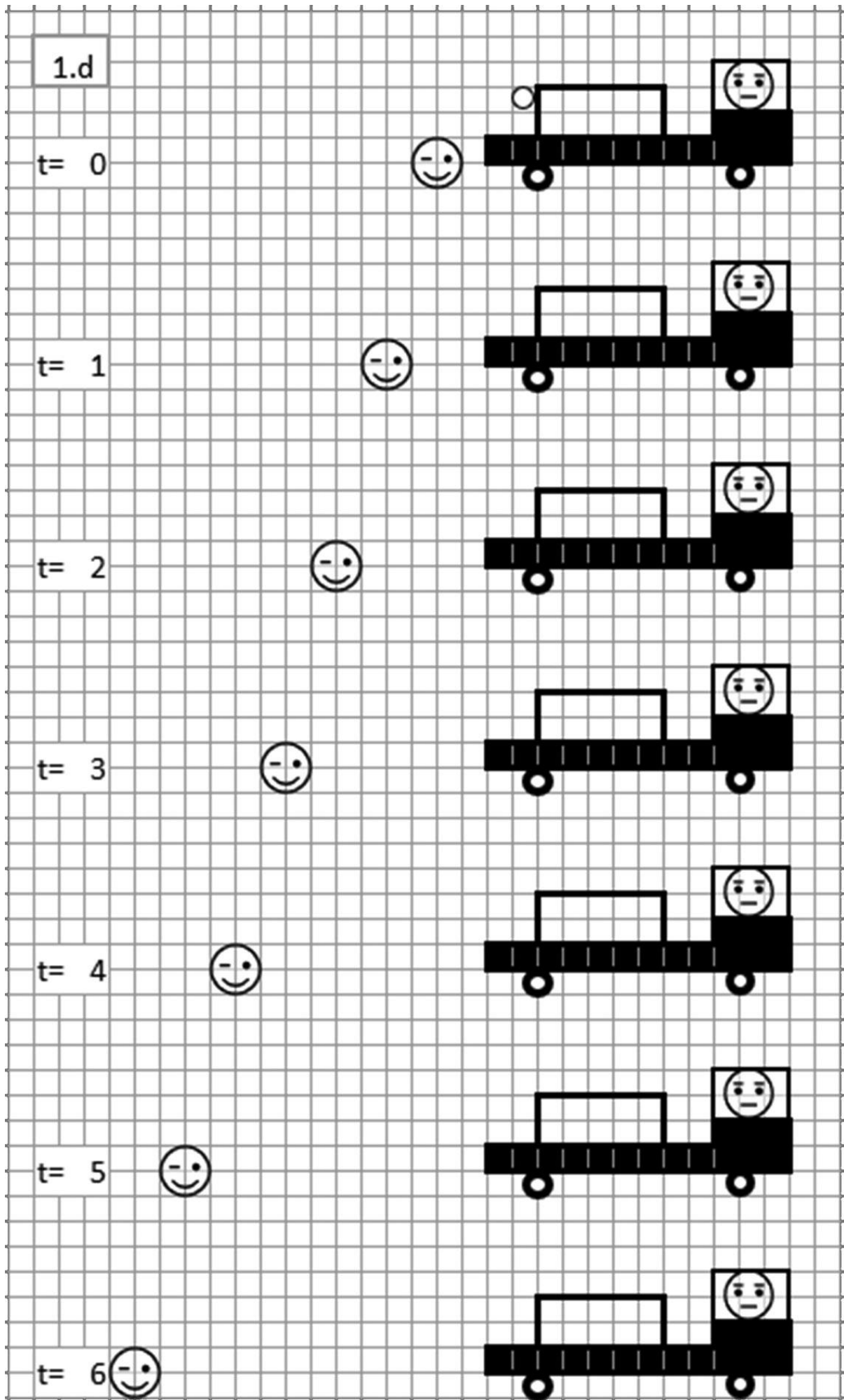
Opdracht 1.8: Beantwoorden lesvraag

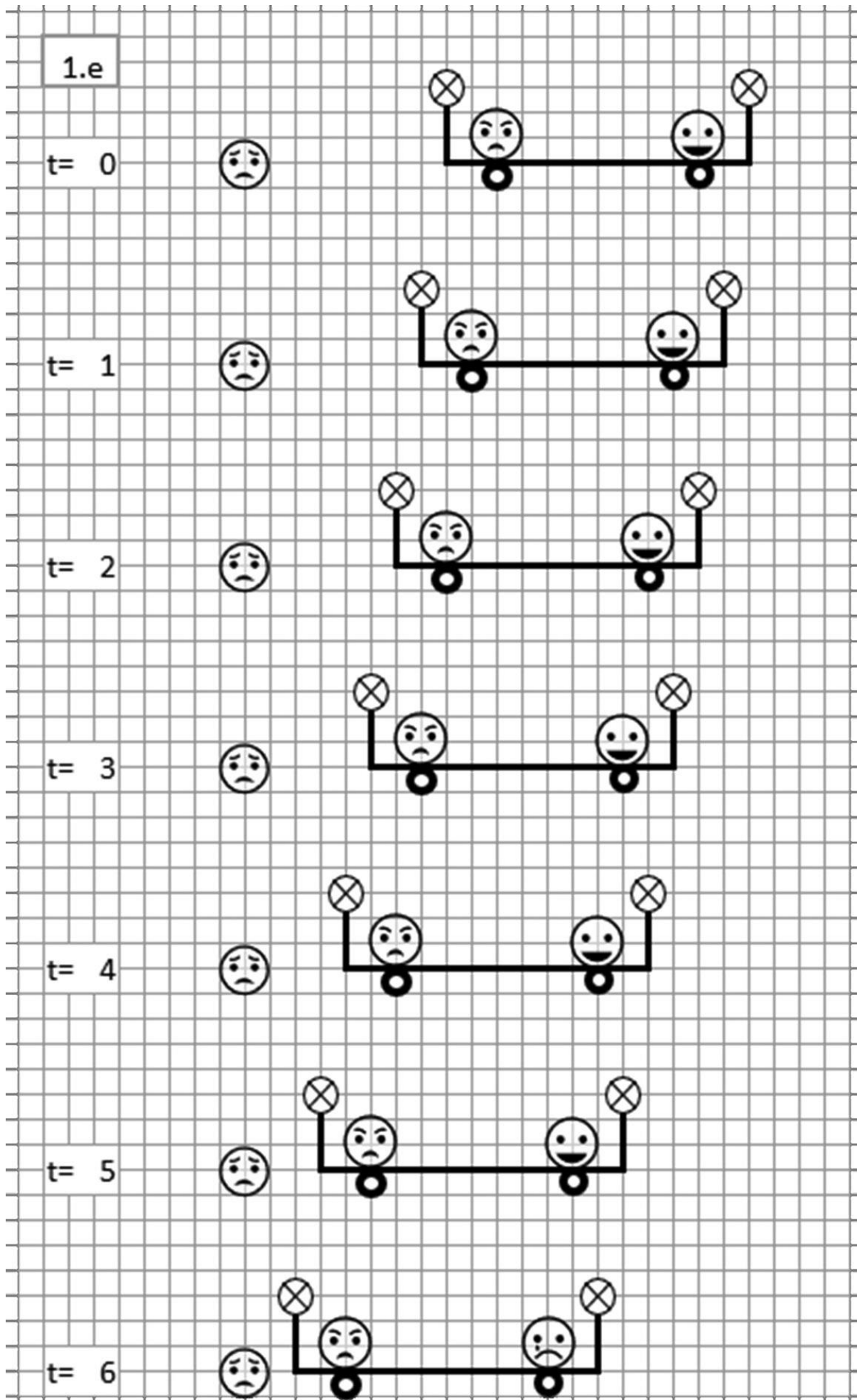
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Hoe kan je beweging beschrijven?

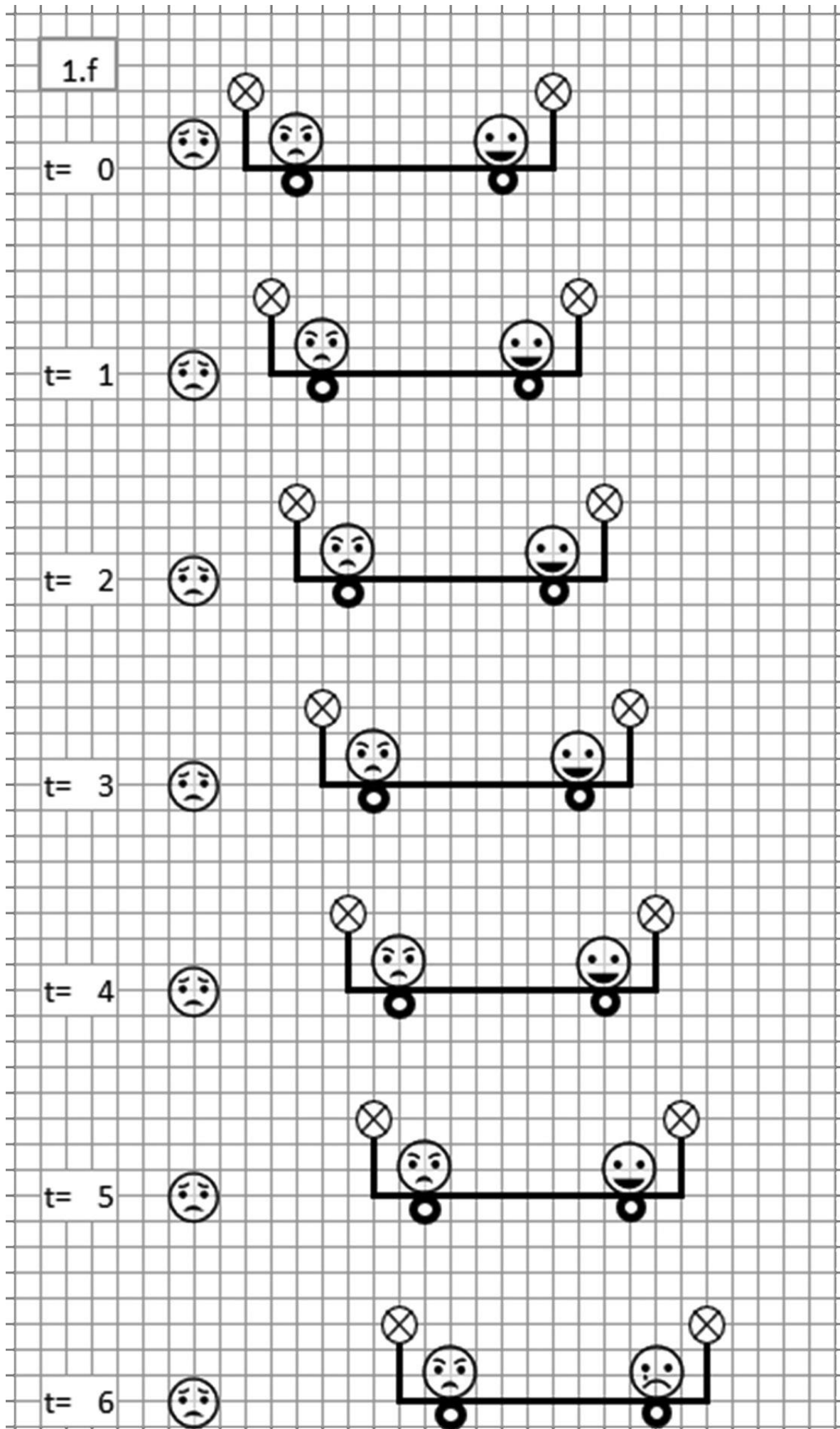




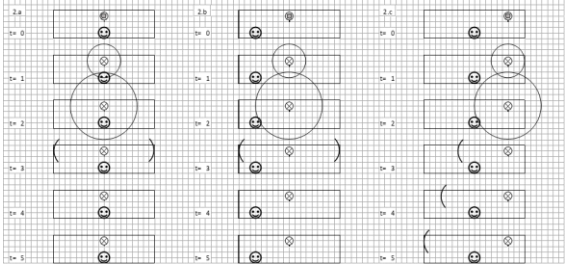








2. Hoe beweegt licht?

<p>Beginsituatie In de voorafgaande activiteiten is beweging bestudeerd. Daarin is aan de orde gekomen dat gebeurtenissen in alle referentiestelsels/volgens alle waarnemers gebeuren, maar dat snelheid en positie van een gebeurtenis kan verschillen. In de komende les wordt dit onderzoek uitgebreid naar licht.</p>	
<p>Doel In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.</p>	
<p>Activiteiten en docenthandelen</p>	<p>Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)</p>
<p>Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</p> <p>De docent vat de beginsituatie samen.</p> <p>De docent laat leerlingen opdracht 2.1 maken. In deze opdracht redeneren leerlingen met het voortbewegen van licht in situaties waarin waarnemer, lichtbron en achtergrond ten opzichte van elkaar stilstaan.</p> <p>De docent bespreekt de opdracht na, met aandacht voor hoe het voortbewegen van licht in de gebeurtenisdiagram getekend kan worden.</p> <p>De docent laat leerlingen opdracht 2.2 maken. In deze opdracht moeten leerlingen met het voortbewegen van licht redeneren in situaties met een bewegende lichtbron.</p> <p>Leerlingen reproduceren in 2-tallen hun antwoorden in een 'lege' versie van het diagram.</p> <p>De docent projecteert de diagrammen van opdracht 2.2 op het bord en laat leerlingen hun antwoord hierin tekenen totdat alle verschillende leerlingenantwoorden afgebeeld zijn. (Hoefst nu niet toegelicht te worden.)</p>	<p>Mogelijke uitkomsten</p>  <p>Leerlingen tekenen in de diagrammen van de inleveropdracht licht met een constante snelheid t.o.v. lamp, grafiekpapier (punt van uitzenden), mix van deze twee. (Het zou kunnen dat een enkele leerling het lichtpostulaat toepast en een constante snelheid t.o.v. de onderzoeker tekent.)</p>



<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</p> <p>De docent laat leerlingen individueel (3 minuten) op alle gegeven leerling-antwoorden reflecteren aan de hand van de volgende vragen (Opdracht 2.3): <i>Hoe heb je zelf een constante snelheid toegepast?</i> <i>Hoe hebben anderen dat gedaan?</i> <i>Wat is het verschil tussen de verschillende manieren van een constante snelheid toepassen?</i></p> <p>De docent laat leerlingen kort uitwisselen (2 minuten) met een medeleerling. Het doel de van deze vragen is dat leerlingen zelf de rol van referentiekader gaan ontdekken.</p>	<p>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</p> <p>Leerlingen lezen snelheid af ten opzichte van ander referentiekader. (Leerlingen tellen dan snelheid van de lamp t.o.v. het papier en de snelheid van het licht t.o.v. de lamp bijvoorbeeld bij elkaar op, waardoor snelheden van bijvoorbeeld 3 hokjes/tijdstapje t.o.v. het papier worden genoemd.)</p>
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>Docent haalt leerlingdenkbeelden naar voren door leerlingen te vragen hun antwoorden op de reflectievragen te vertellen.</p> <p>De docent leidt in een socratisch gesprek naar de beantwoording van de reflectievraag: <i>Er zijn verschillende goede antwoorden mogelijk. Het verschil tussen deze antwoorden komt door het referentiekader ten opzichte waarvan de snelheid van 3 hokjes per tijdstapje is gekozen.</i></p> <p>Daarbij introduceert de docent het begrip tekenregel: een consequente manier om constante lichtsnelheid te tekenen.</p> <p>De docent roept in het gesprek ook de vraag op ten opzichte van welk referentiekader licht een constante snelheid heeft.</p> <p>Mogelijkheden om door te vragen: 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?</p>	<p>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</p> <p>Leerlingen hebben moeite met het aflezen van de snelheid in een ander referentiekader, waardoor ze een ander antwoord dan hun eigen spontaan redeneren niet als een constante snelheid zien. Sommige leerlingen passen niet in alle situaties hetzelfde voortplantingsmodel toe. We verwachten dat deze leerlingen een regel opstellen waar de uitzondering in is opgenomen. In het klassengesprek kan eventueel een derde mogelijkheid door de leerlingen worden geopperd: een constante lichtsnelheid t.o.v. de onderzoeker of een ander object in de diagrammen.</p>

**Fase 4: Consolideren**

Docent benoemt dat er verschillende manieren zijn hoe een constante snelheid kan worden toegepast. Docent benoemt dat het verschil tussen deze mogelijkheden zit in het referentiekaders. De docent benoemt de twee tekenregels (constant t.o.v. het papier en constant t.o.v. de lamp). De docent benoemt dat de gevonden leerling-antwoorden plausibel zijn omdat ze consistent zijn met een constante snelheid.

En dat dit voor licht dus de vraag oproept ten opzichte van welk referentiekader licht een constante snelheid heeft.

Volgende activiteit: oefenen met die tekenregels en daar voorspellingen mee doen.

Leerlingen maken thuis consolidatieopdracht 2.4.

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



Leerlingenboekje 2. Hoe beweegt licht?

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.

Opdracht 2.1 Redeneeropdracht

Gebruik bij deze opdracht diagrammen 2.a, 2.b en 2.c.

In deze opdracht 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 0 een korte lichtflits uit en gaat daarna weer uit.

Het diagram in deze opdracht lijkt op de diagrammen waar je al eerder in de les mee hebt gewerkt. Kamer, deuren, lamp en onderzoeker zijn weergegeven op verschillende opeenvolgende tijdstippen.

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

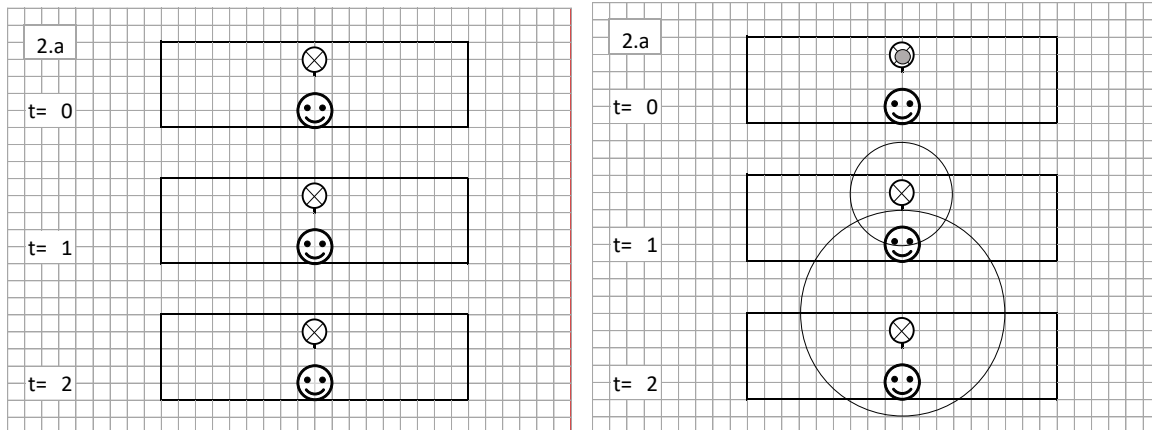
1. Bepaal bij alle diagrammen (2.a, 2.b en 2.c) op welk tijdstip het licht bij de muren van de kamer aankomt.

Opdracht 2.2: Redeneeropdracht

In deze opdracht 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 zoekt uit, door te tekenen in een diagram, bij welke tijdstapjes het licht bij de deuren aankomt.

Het diagram in deze opdracht lijkt op de diagrammen uit opdracht 2.1. Kamer, deuren, lamp en onderzoeker zijn weergegeven op verschillende opeenvolgende tijdstippen. Een voorbeeld hiervan is te zien in de linker figuur.

Je tekent zelf het licht dat door de lamp wordt uitgezonden in de diagram. Het licht verplaatst zich met drie hokjes per tijdstapje. In de rechterfiguur zie je hoe je dat kan weergeven.



De opdracht bestaat uit 4 diagrammen, waarbij de onderzoeker buiten de kamer (diagram 2.d en 2.e) of daarbinnen (diagram 2.f en 2.g) is. Je mag aannemen dat de onderzoeker gewoon naar binnen kan kijken. In deze opdracht is er steeds sprake van beweging van de onderzoeker, de kamer of beide.

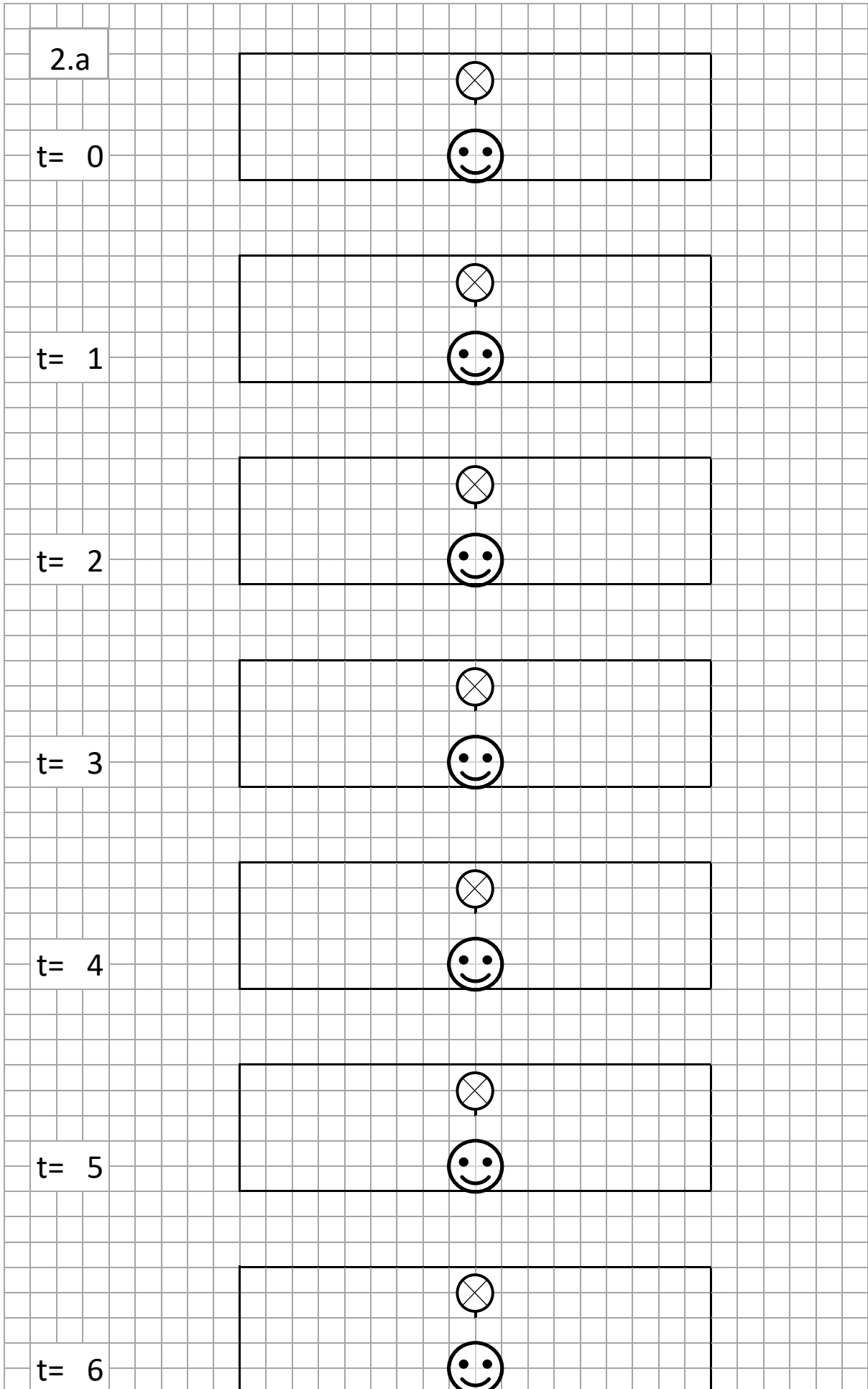
1. Teken het licht in diagrammen 2.d t/m 2.g op alle tijdstappen.
2. Tijdstapje dat het licht bij de deuren aankomt
 - a. 2.d: _____
 - b. 2.e: _____
 - c. 2.f: _____
 - d. 2.g: _____

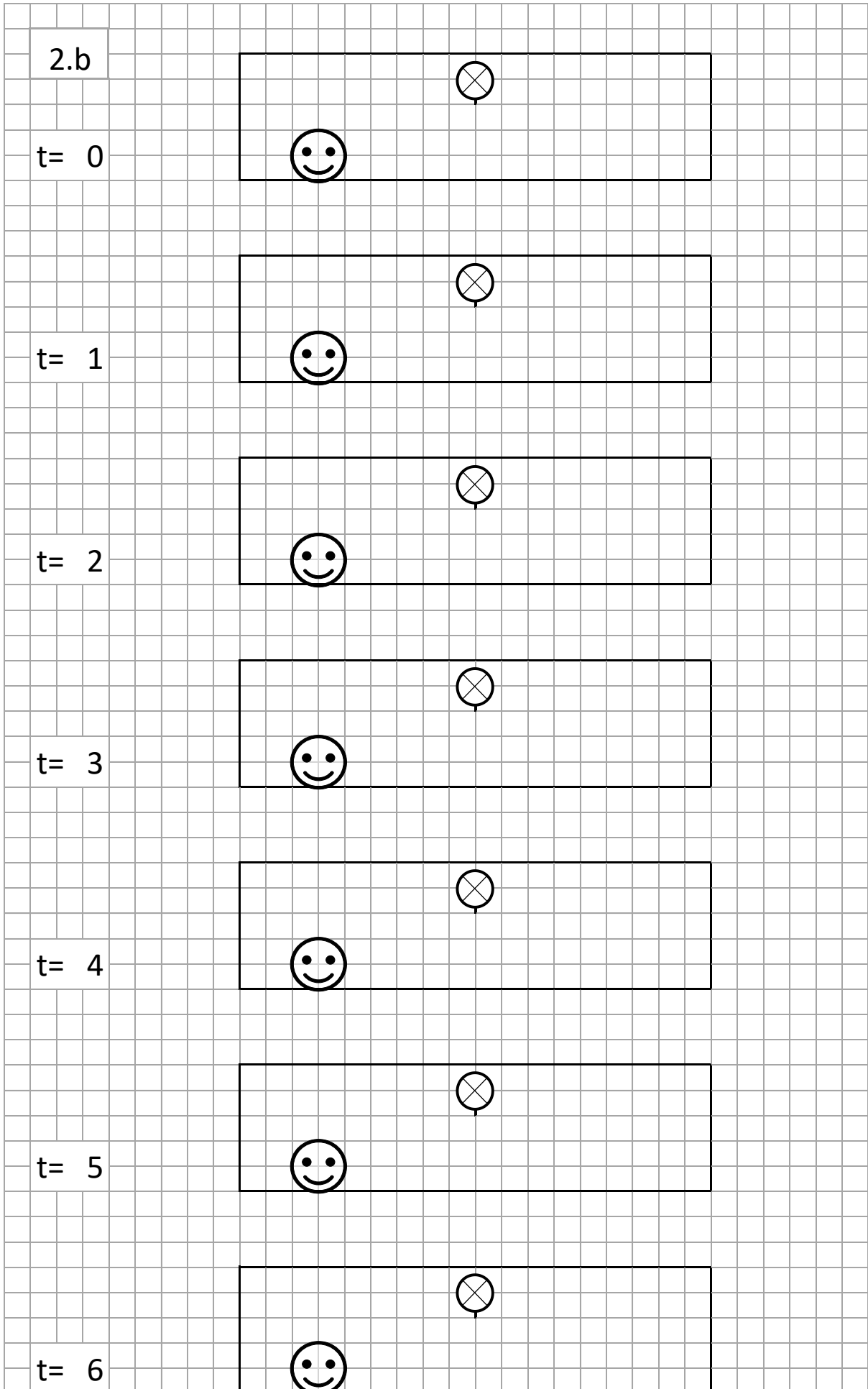
Opdracht 2.3: Reflectieopdracht

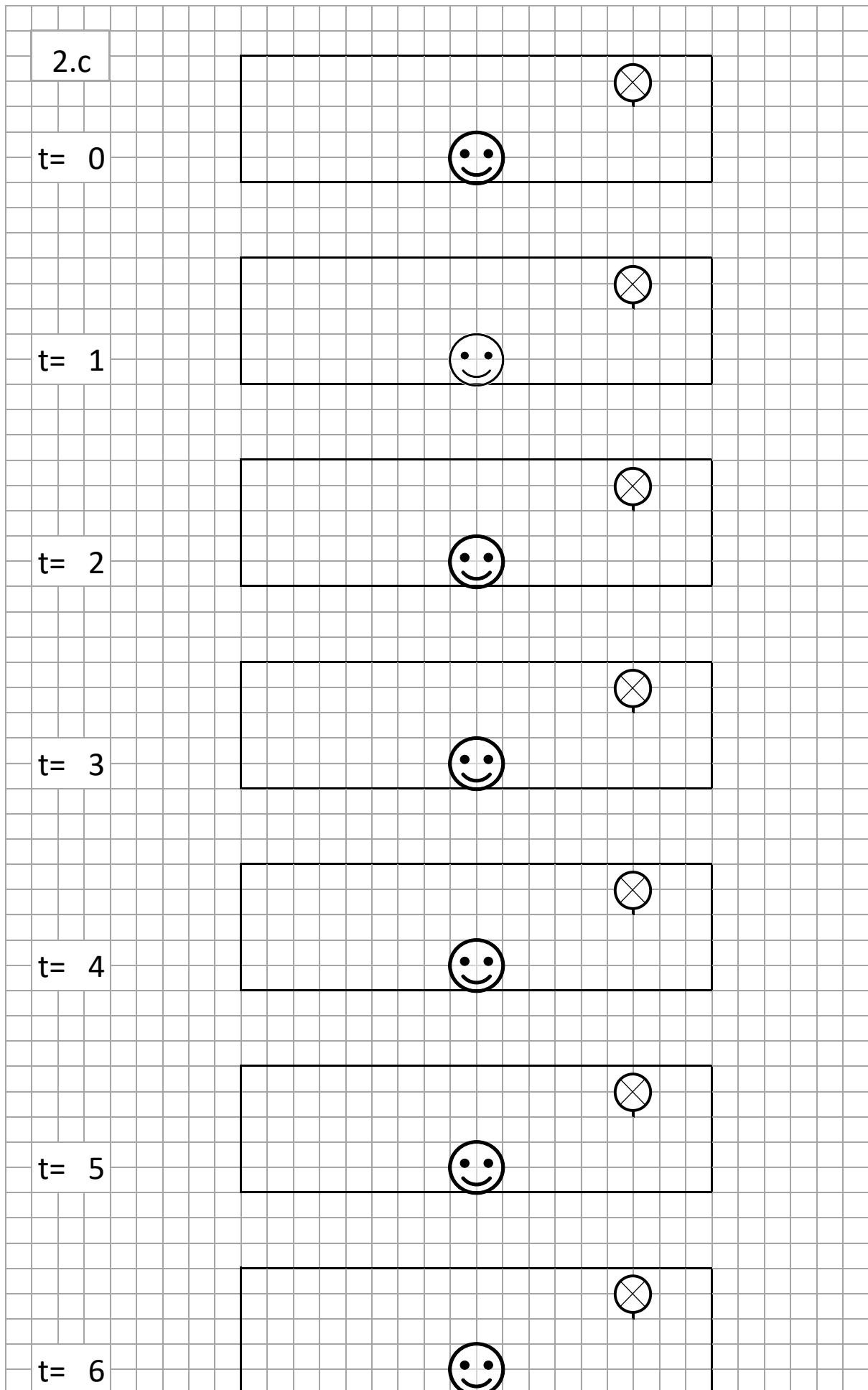
1. Hoe heb je zelf een constante snelheid toegepast in opdracht 2.2?
2. Hoe hebben anderen dat gedaan?
3. Wat is het verschil tussen de verschillende manieren van een constante snelheid toepassen?

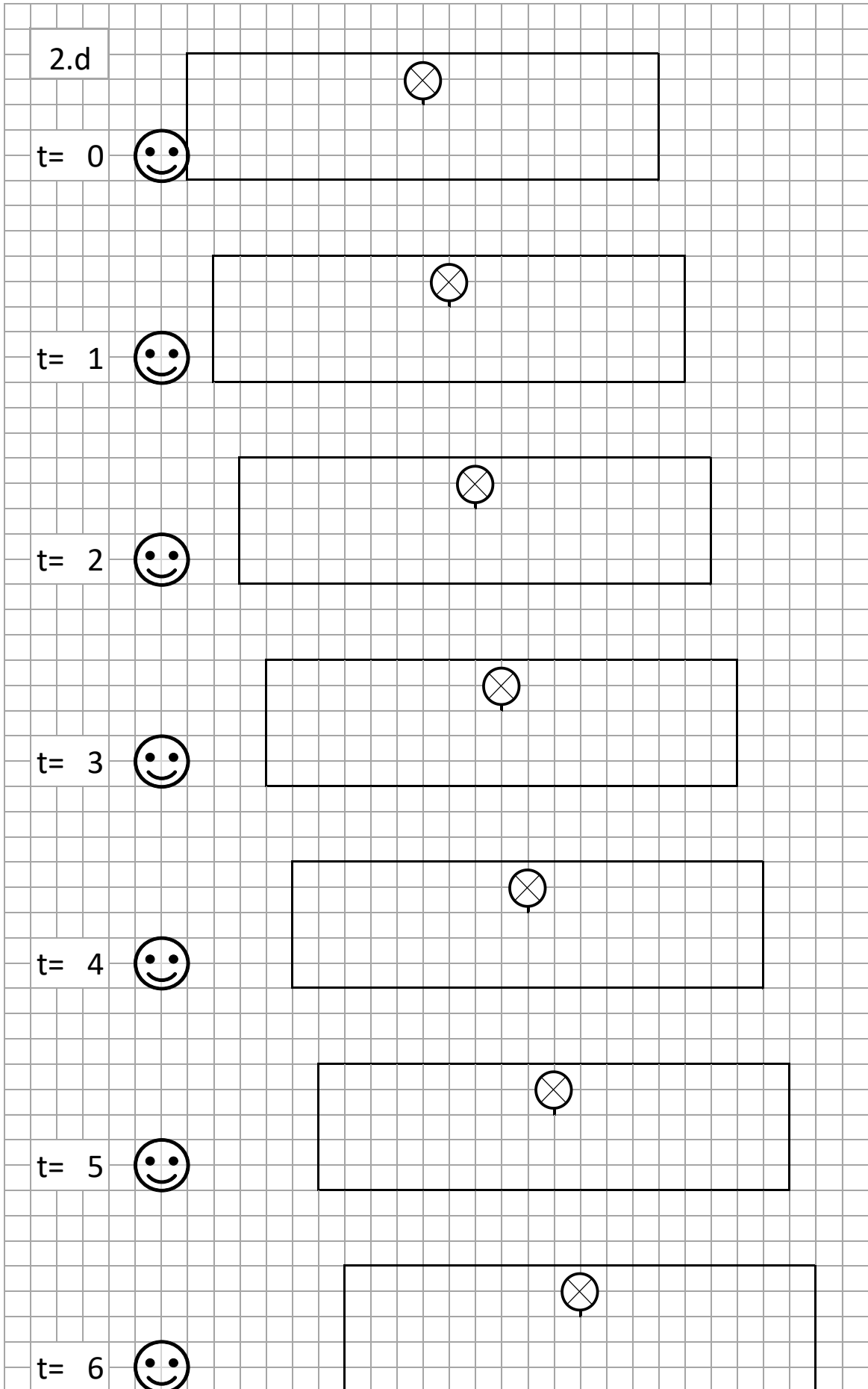
Opdracht 2.4: Beantwoorden lesvraag

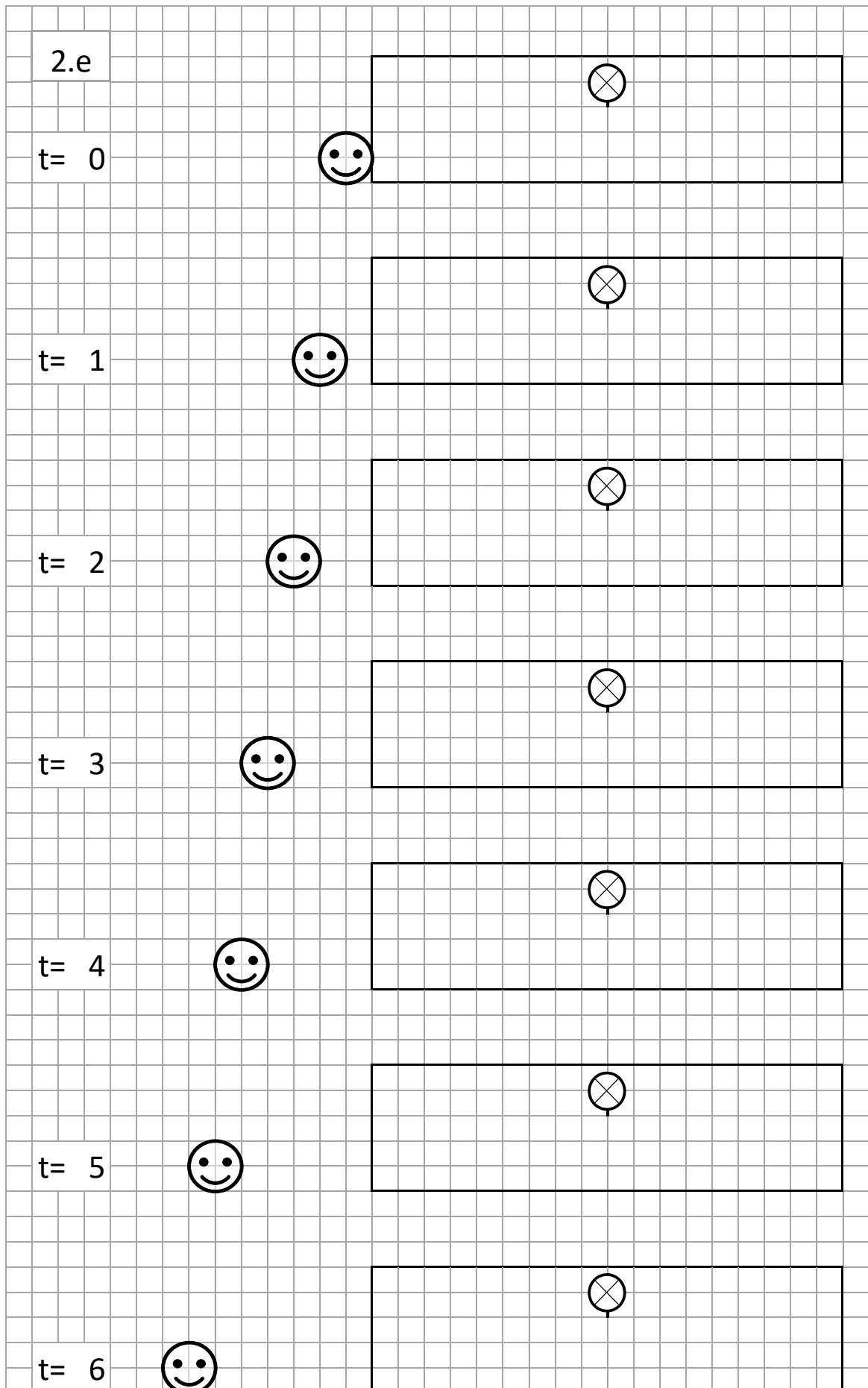
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Hoe beweegt licht?

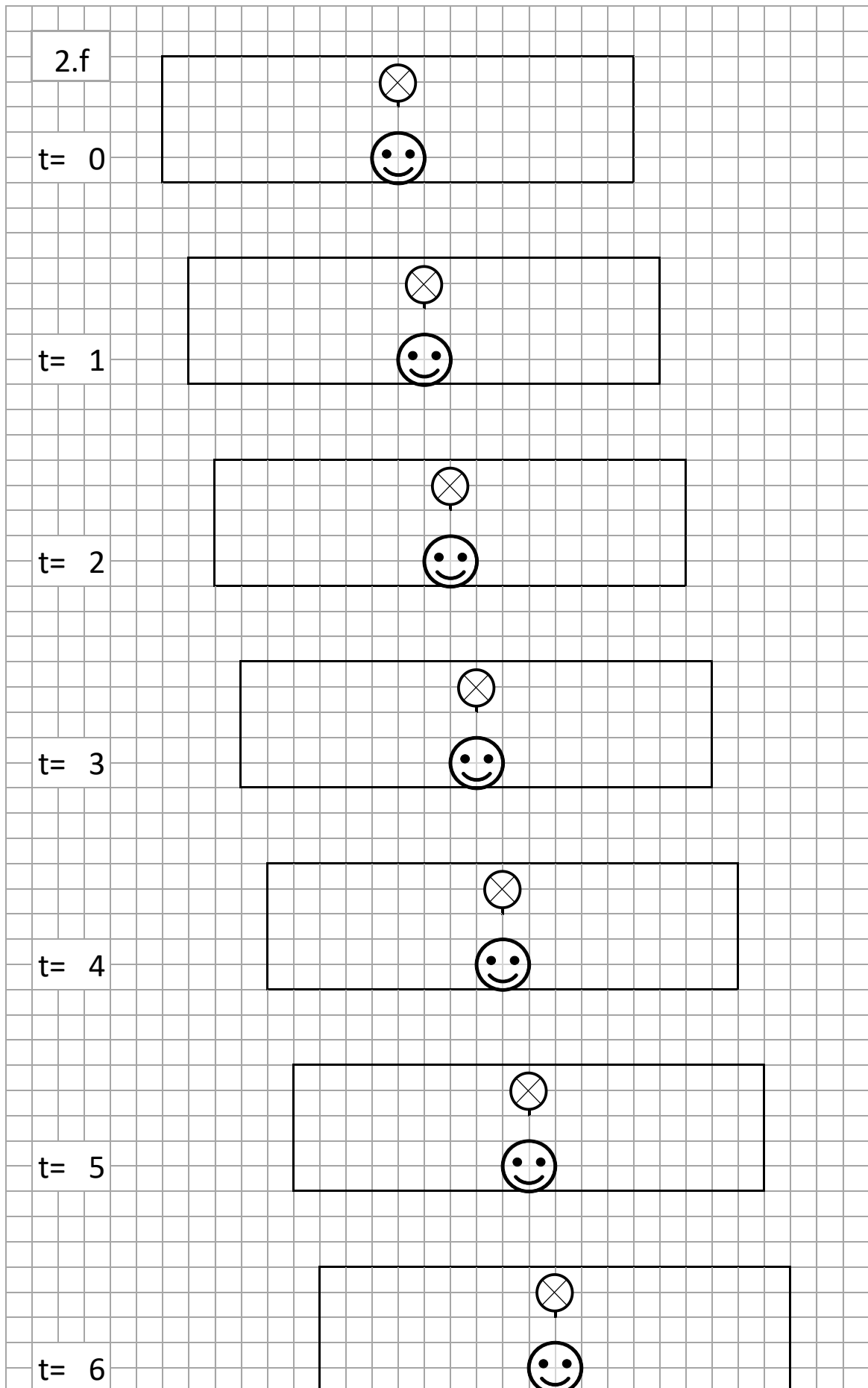


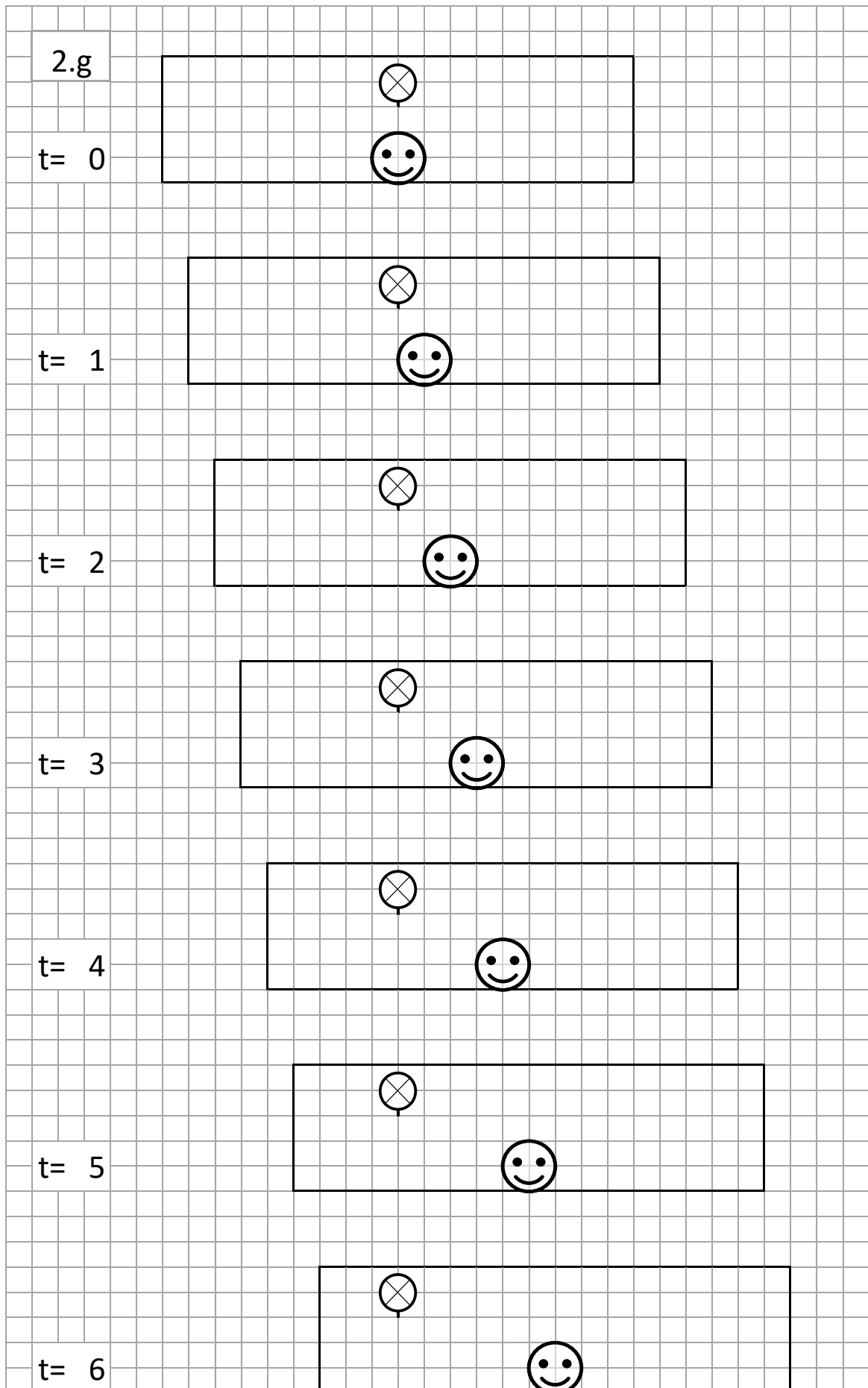












3. Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

Beginsituatie

Docent benoemt dat er verschillende manieren zijn dat er een constante snelheid kan worden toegepast. Docent benoemt dat het verschil tussen deze mogelijkheden zit in het referentiekaders. De docent benoemt de twee tekenregels (constant t.o.v. het papier en constant t.o.v. de lamp). De docent benoemt dat de gevonden leerling-antwoorden plausibel zijn omdat ze consistent zijn met een constante snelheid.

En dat dit voor licht dus de vraag oproept ten opzichte van welk referentiekader licht een constante snelheid heeft.

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Hoe kan je bepalen welk referentiekader overeenkomt met hoe licht zich daadwerkelijk gedraagt?'. 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.

Activiteiten en docenthandelen

Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden

De docent vat de beginsituatie samen en noemt dat er nu geoefend gaat worden met de tekenregels en daar voorspellingen mee doen. Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

De docent scherpt de vraag uit de vorige les aan tot: Hoe kan je bepalen welk referentiekader overeenkomt met hoe licht zich daadwerkelijk gedraagt?

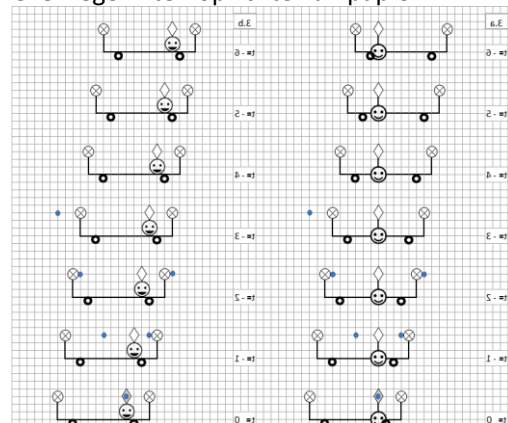
De docent verbindt de manieren van spontaan redeneren aan modelmatig redeneren met het voortbewegen van licht. (*Constante snelheid t.o.v. papier redeneert op dezelfde manier als wanneer licht zo zou bewegen als een golf/knal; constante snelheid t.o.v. bron redeneert op dezelfde manier als wanneer licht zo zou bewegen als een deeltje/bal die wordt weggeschoten.*) De docent vertelt dat dit beide plausibele modellen zijn voor het voortbewegen van licht.

Docent herhaalt de tekenregels, inclusief een eventuele derde tekenregel als die in het klassengesprek naar voren is gekomen.

Observerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)

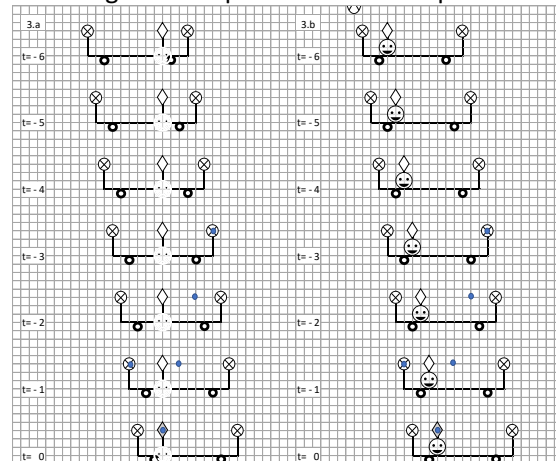
Mogelijke uitkomsten

Tekenregel 1 ten opzichte van papier:



Licht is tussen $t = -1$ en $t = -2$ uitgezonden door de linker lamp en tussen $t = -2$ en $t = -3$ door de rechter lamp.

Tekenregel 2 ten opzichte van de lamp:



Licht is op $t = -1$ uitgezonden door de linker lamp



<p>De docent laat leerlingen in tweetallen opdracht 3.1 en 3.2 maken. De helft van de tweetallen maken de opdrachten voor situaties vanuit een onderzoeker die naar een bewegende lichtbron kijkt (diagram 3.a), de andere helft juist voor onderzoekers die met de lichtbron mee bewegen (diagram 3.b). Hierbij gebruiken alle leerlingen beide tekenregels.</p> <p>De docent laat leerlingen opdracht 3.3 maken. In deze opdracht reflecteren leerlingen op de snelheden in opdracht 3.1 en 3.2.</p> <p>Docent geeft de juiste antwoorden, leerlingen vergelijken deze met hun eigen uitkomsten.</p>	<p>en op $t = -3$ door de rechter lamp.</p>
<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</p> <p>De docent laat leerlingen Reflectieopdracht 3.4 maken. In deze opdracht reflecteren leerlingen op de uitkomsten van opdrachten 3.1, 3.2 en 3.3.</p> <p>.</p> <p>De docent laat leerlingen kort uitwisselen met een medeleerling over de opdracht. De reflectievragen van opdracht 3.4 staan ook op het bord.</p>	<p><i>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</i></p> <p>Twee modellen tegelijk waar: De juiste manier van beschrijven hangt af van het referentiestelsel van de waarnemer. Door het duale karakter van licht kunnen beide uitkomsten mogelijk zijn. Het hangt af van of licht zich als golf of als deeltje gedraagt. Hangt van snelheid of bewegingsrichting van de trein af.</p> <p>Twee modellen niet tegelijk waar: Sensor meet slechts één keer dat het licht aankomt. Hetzelfde licht kan dus niet op twee verschillende tijdstippen op dezelfde plek arriveren. Licht kan zich slechts op één manier voortplanten. Leerling wil een keuze tussen de twee modellen. Of beide modellen tegelijk waar kunnen zijn hangt af van de snelheid van het voorwerp t.o.v. de lichtsnelheid.</p>



<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>De docent haalt leerlingdenkbeelden naar voren.</p> <p>De docent leidt in een socratisch gesprek naar de beantwoording van de reflectievraag: <i>De twee tekenregels doen verschillende voorspellingen over de werkelijkheid en kunnen dus niet tegelijk waar zijn.</i></p> <p>In het gesprek controleert de docent of alle leerlingen zich bewust zijn van het gegeven dat er gekozen moet worden voor één consequente tekenregel. De docent roept in het gesprek ook de vraag op of een van de tekenregels een geschikt voortbewegingsmodel zijn voor licht.</p> <p>Mogelijkheden om door te vragen: Doet de tekenregel een voorspelling over de werkelijkheid waar je iets aan hebt? Wat moeten we met deze voorspellingen?</p>	<p><i>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</i></p>
<p>Fase 4: Consolideren</p> <p>De docent vat de bevindingen samen: 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. Dat roept de vraag op of een van de tekenregels een geschikt voortbewegingsmodel voor licht is.</p> <p>In de komende les(sen) gaan we de tekenregels evalueren aan de hand van experimenten om tot een definitief voortbewegingsmodel voor licht te komen.</p> <p>Leerlingen maken (thuis) consolidatieopdracht 3.5 t/m 3.8.</p>	<p><i>Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...</i></p>



Leerlingenboekje '3. Wat kunnen we leren van tekenregel-voorspellingen?'

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Hoe kan je bepalen welk referentiekader overeenkomt met hoe licht zich daadwerkelijk gedraagt?'. 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.

Opdracht 3.1: Redeneeropdracht - Tekenregel 1

Gebruik bij deze opdracht diagrammen 3.a en 3.b.

In deze opdracht moet je terug redeneren. 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. Je bestudeert de situatie vanuit een onderzoeker die kijkt naar bewegende lichtbronnen (diagram 3.a) of vanuit een onderzoeker die met de lichtbronnen meebeweegt (diagram 3.b).

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

2. Bepaal hoeveel tijdstappen terug het licht is uitgezonden door de lampen als je tekenregel 1 gebruikt.
3. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
4. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

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

1. Bepaal hoeveel tijdstappen terug het licht is uitgezonden door de lampen als je tekenregel 1 gebruikt.
2. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
3. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.



Opdracht 3.2: Redeneeropdracht - Tekenregel 2

Gebruik bij deze opdracht diagrammen 3.a en 3.b.

In deze opdracht moet je terug redeneren. 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. Je bestudeert de situatie vanuit een onderzoeker die kijkt naar bewegende lichtbronnen (diagram 3.a) of vanuit een onderzoeker die met de lichtbronnen meebeweegt (diagram 3.b).

Vanuit de onderzoeker die kijkt naar bewegende lichtbronnen (diagram 3.a).

1. Bepaal hoeveel tijdstappen terug het licht is uitgezonden door de lampen als je tekenregel 2 gebruikt.
2. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
3. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

Vanuit onderzoeker die met de lichtbronnen meebeweegt (diagram 3.b)

1. Bepaal hoeveel tijdstappen terug het licht is uitgezonden door de lampen als je tekenregel 2 gebruikt.
2. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
3. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

Opdracht 3.3: Redeneeropdracht - Interpretieren

Vragen bij diagram 3.a

1. Wat is de snelheid van het licht naar rechts?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.
2. Wat is de snelheid van het licht naar links?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.

Vragen bij diagram 3.b

1. Wat is de snelheid van het licht naar rechts?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.
2. Wat is de snelheid van het licht naar links?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.



Opdracht 3.4: Reflectieopdracht

In opdracht 3.3 heb je twee verschillende tekenregels gebruikt. Deze tekenregels leveren verschillende voorspellingen op voor het moment dat je denkt dat de lampen een lichtflits hebben uitgezonden.

1. Welke tekenregel(s) is/zijn juist? Omcirkel de stelling die het dichtst bij jouw idee komt:
 - A. De tekenregel die ik bij opdracht 2.2 gebruikte kan juist zijn, de andere tekenregel niet.
 - B. De tekenregel die ik bij opdracht 2.2 gebruikte is niet juist, de andere kan wel juist zijn.
 - C. De tekenregel die ik bij opdracht 2.2 gebruikte EN de andere tekenregel kunnen juist zijn.
 - D. De tekenregel die ik bij opdracht 2.2 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. De onderzoeker doet een meting. Kan deze meting beide voorspellingen bevestigen? Leg je antwoord uit.

Opdracht 3.5: Verwerkingsopdracht - Extra oefenen met tekenregel 1 en 2

Gebruik bij deze opdracht diagram 3.c en 3.d.

1. Herhaal opdracht 3.1 en 3.2 bij de nieuwe diagrammen.
2. Wat is het verschil in de uitkomst?
3. Hoe kan je dat verklaren?

Opdracht 3.6: Verwerkingsopdracht - Extra oefenen met tekenregel 1

Gebruik bij deze opdracht diagram 3.e en 3.f.

In de trein zendt een lichtbron een korte lichtflits uit op tijdstip 0. De trein heeft een snelheid van 1 hokje per tijdstap naar links ten opzichte van de ruitjes. Een toeschouwer op het perron zit dit allemaal gebeuren.

Inertiaalstelsel van de onderzoeker die naar een bewegende lichtbron kijkt (diagram 3.e)

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



Inertiaalstelsel van de onderzoeker die met de lichtbron meebeweegt (diagram 3.f)

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.

Opdracht 3.7: Verwerkingsopdracht - Extra oefenen met tekenregel 2

Gebruik bij deze opdracht diagram 3.e en 3.f.

In de trein zendt een lichtbron een korte lichtflits uit op tijdstip 0. De trein heeft een snelheid van 1 hokje per tijdstap naar links ten opzichte van de ruitjes. Een toeschouwer op het perron zit dit allemaal gebeuren.

Inertiaalstelsel van de onderzoeker die naar een bewegende lichtbron kijkt (diagram 3.e)

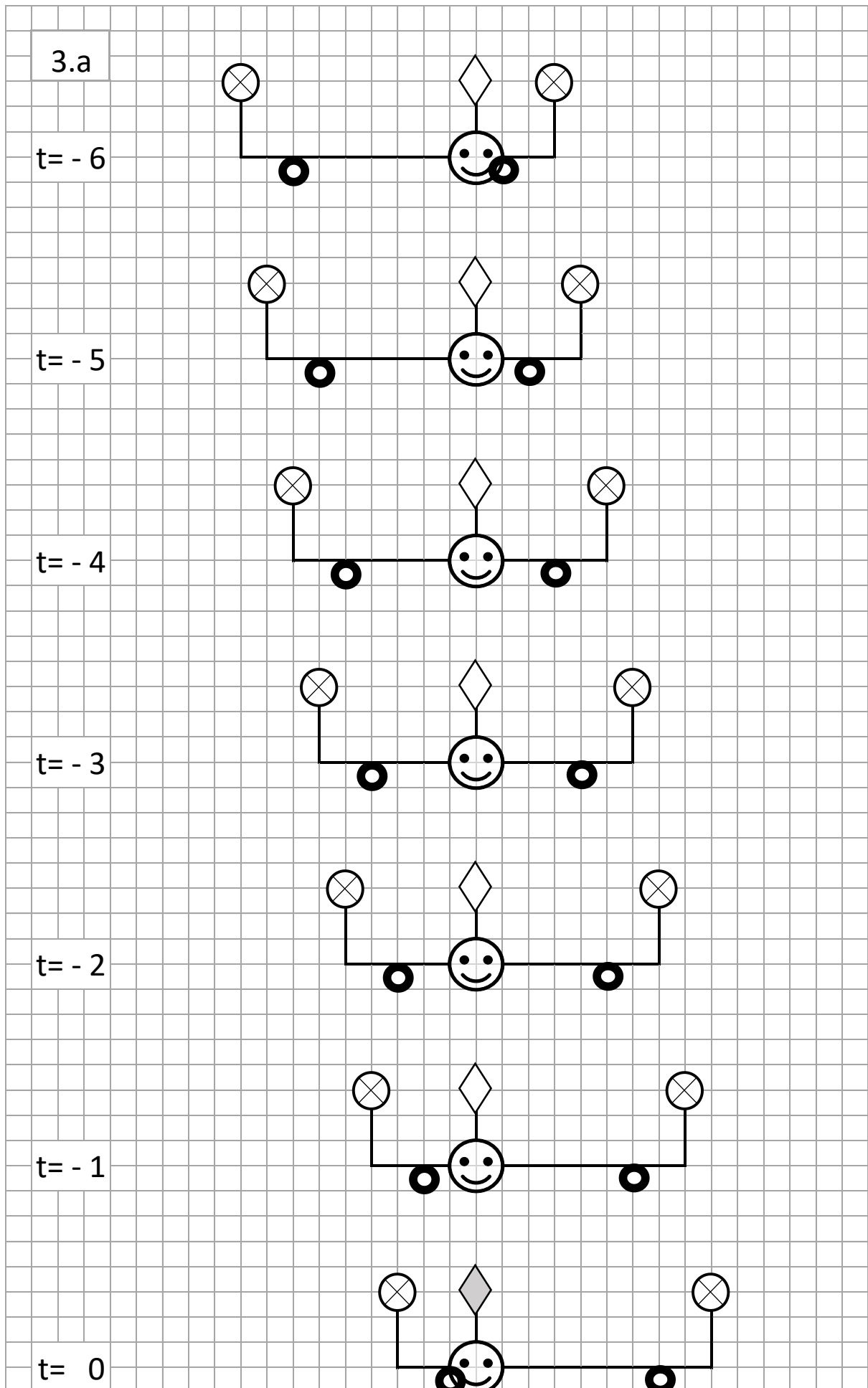
1. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 2 gebruikt.
2. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
3. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

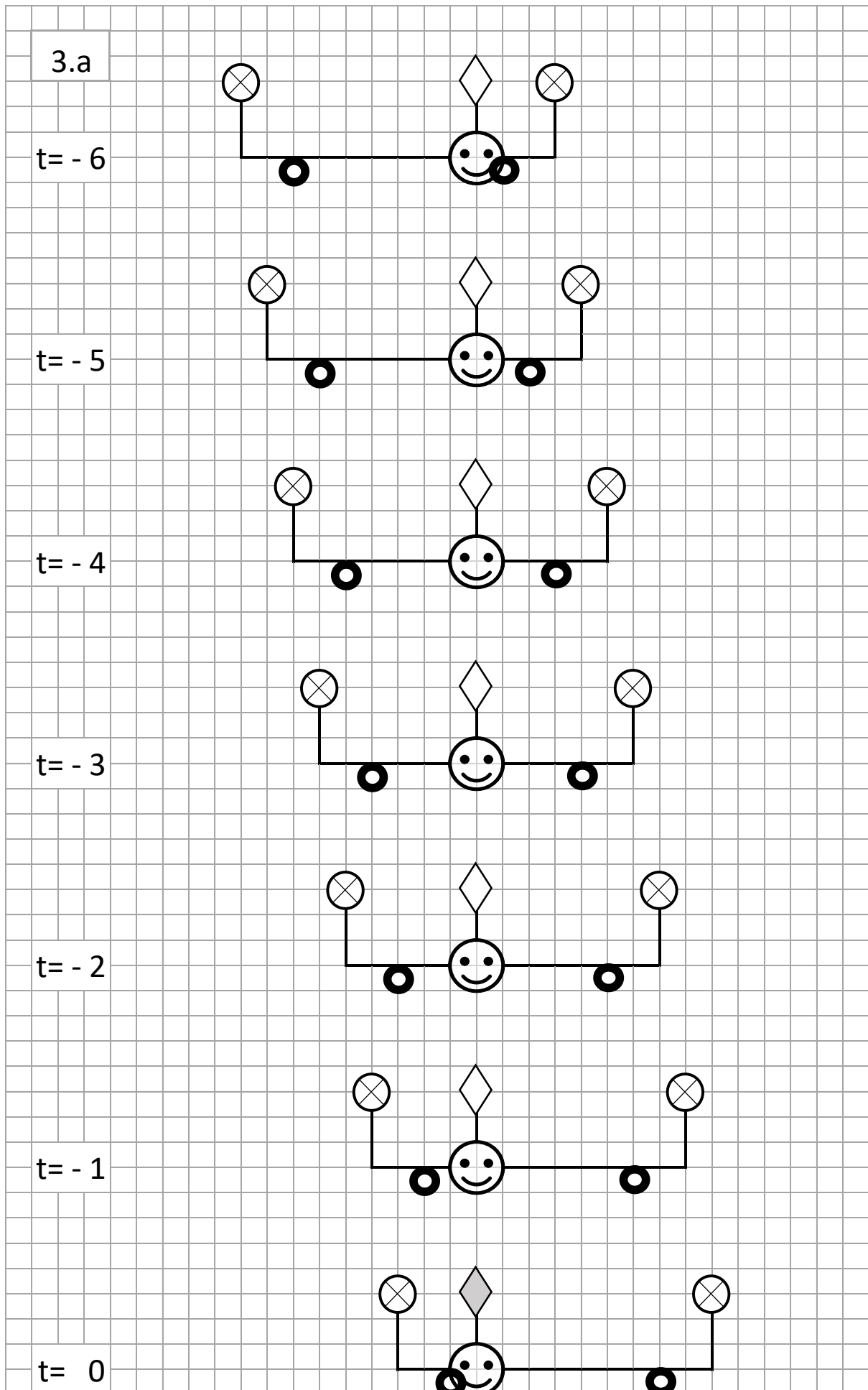
Inertiaalstelsel van de onderzoeker die met de lichtbron meebeweegt (diagram 3.f)

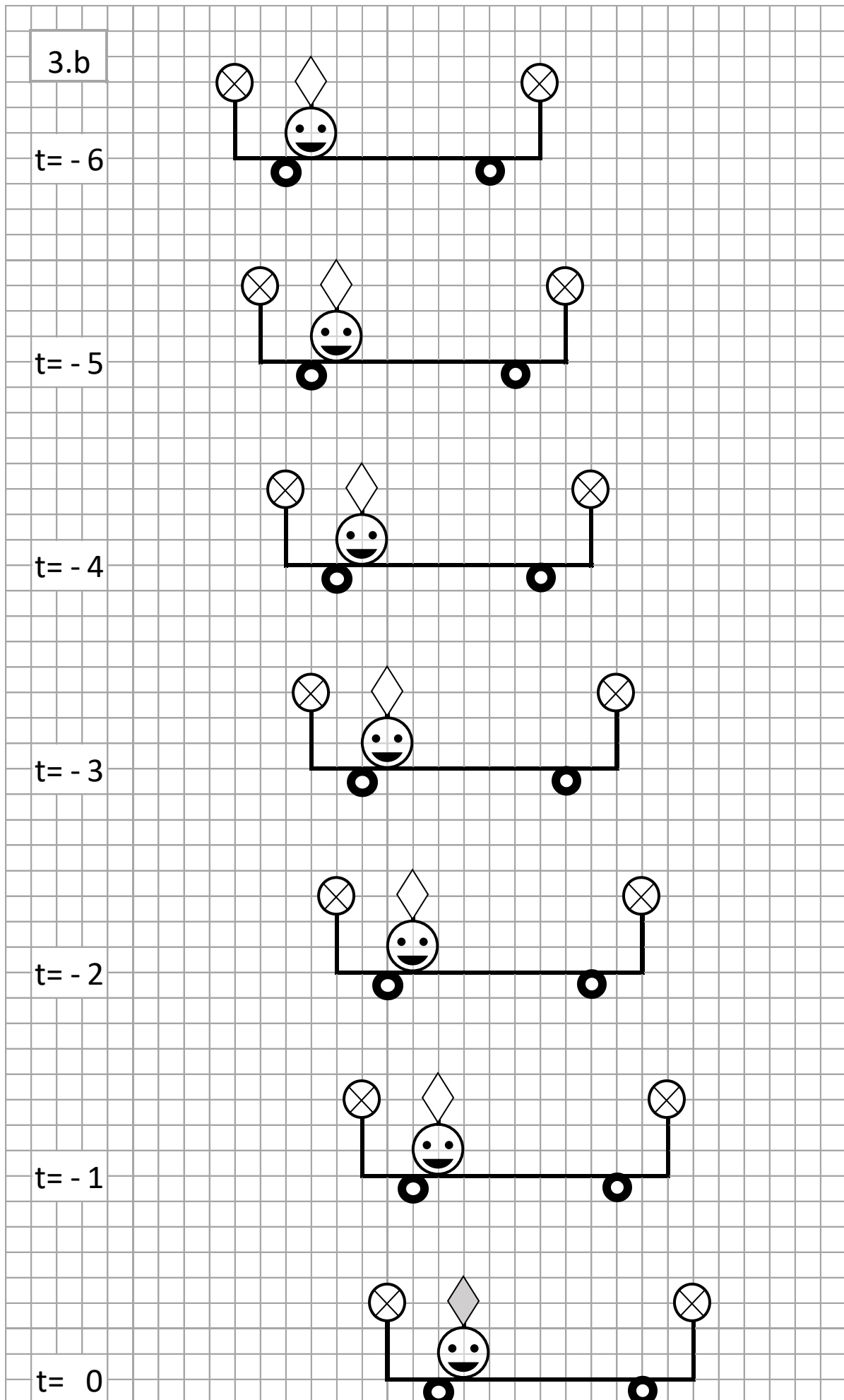
4. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 2 gebruikt.
5. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
6. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

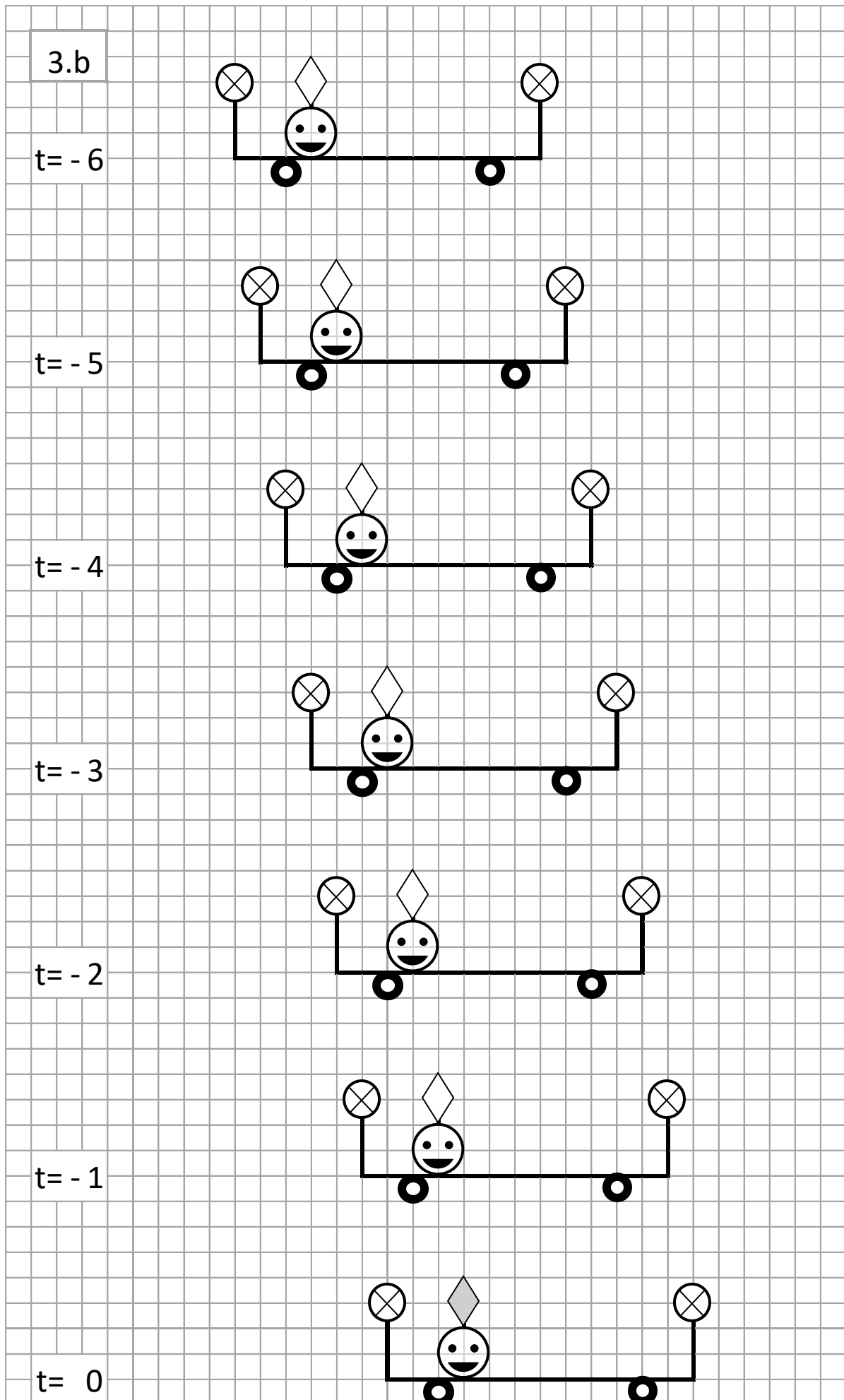
Opdracht 3.8: Beantwoorden lesvraag

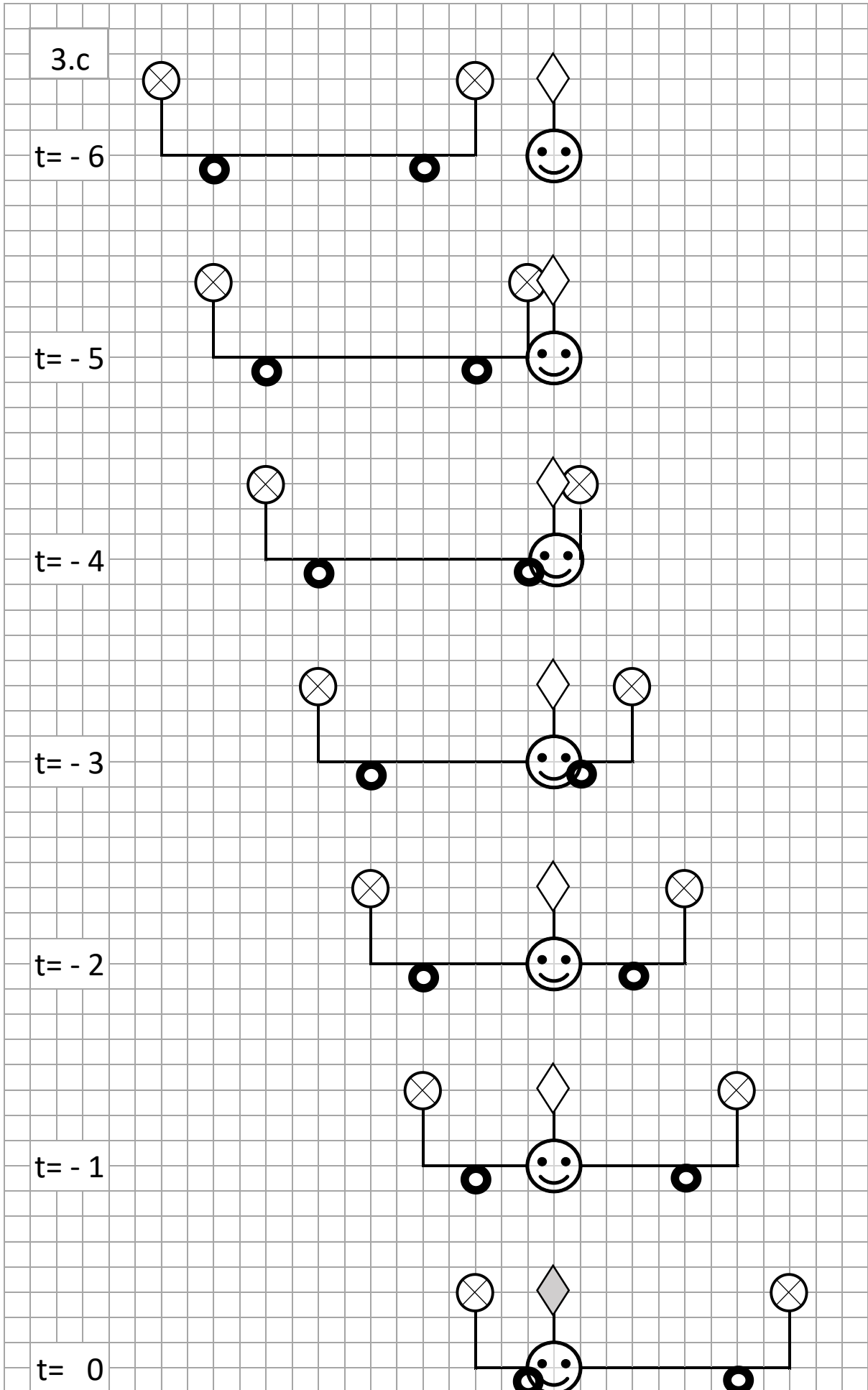
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Wat heb je geleerd over het doen met verschillend tekenregels voor het voortbewegen van licht?

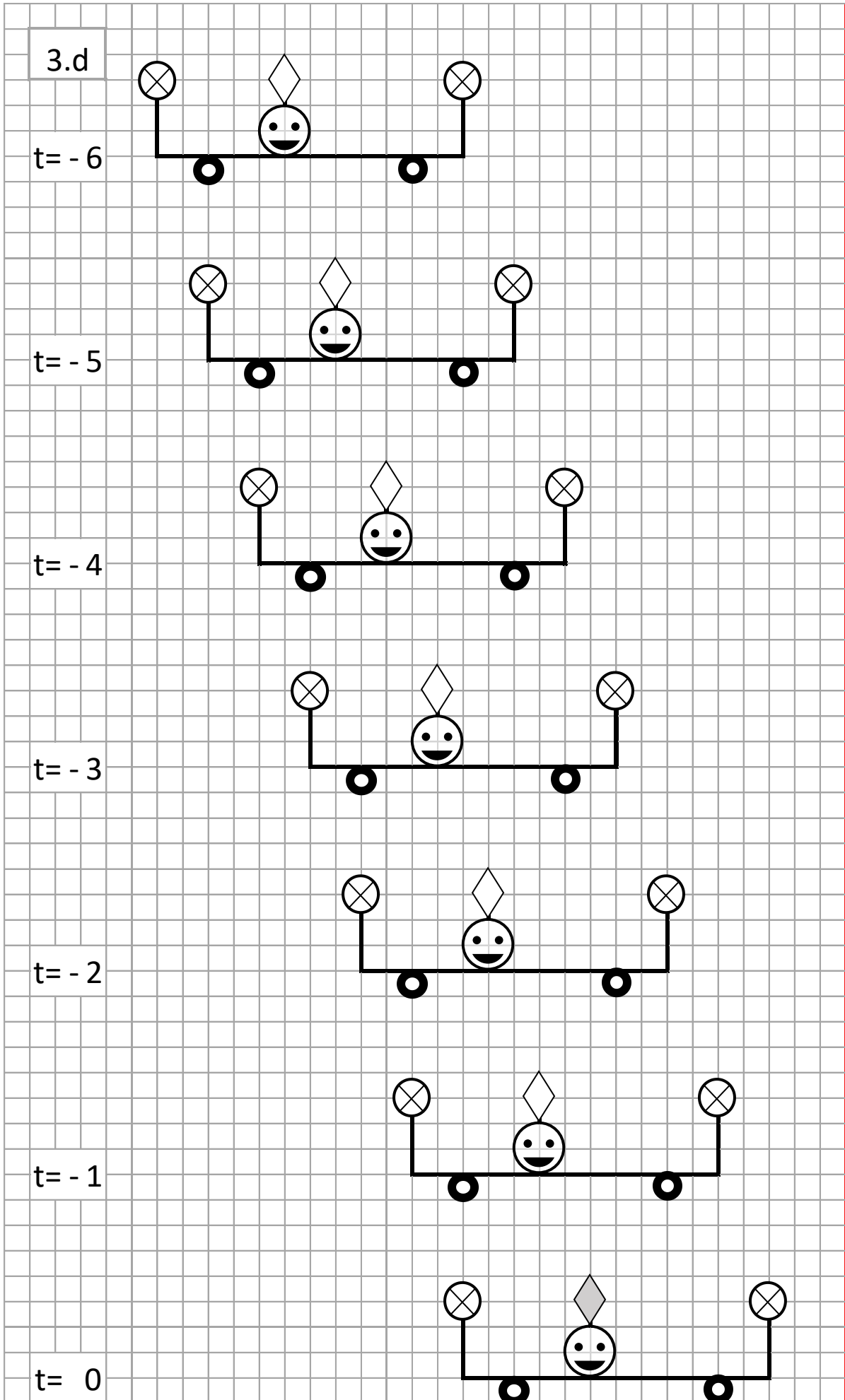


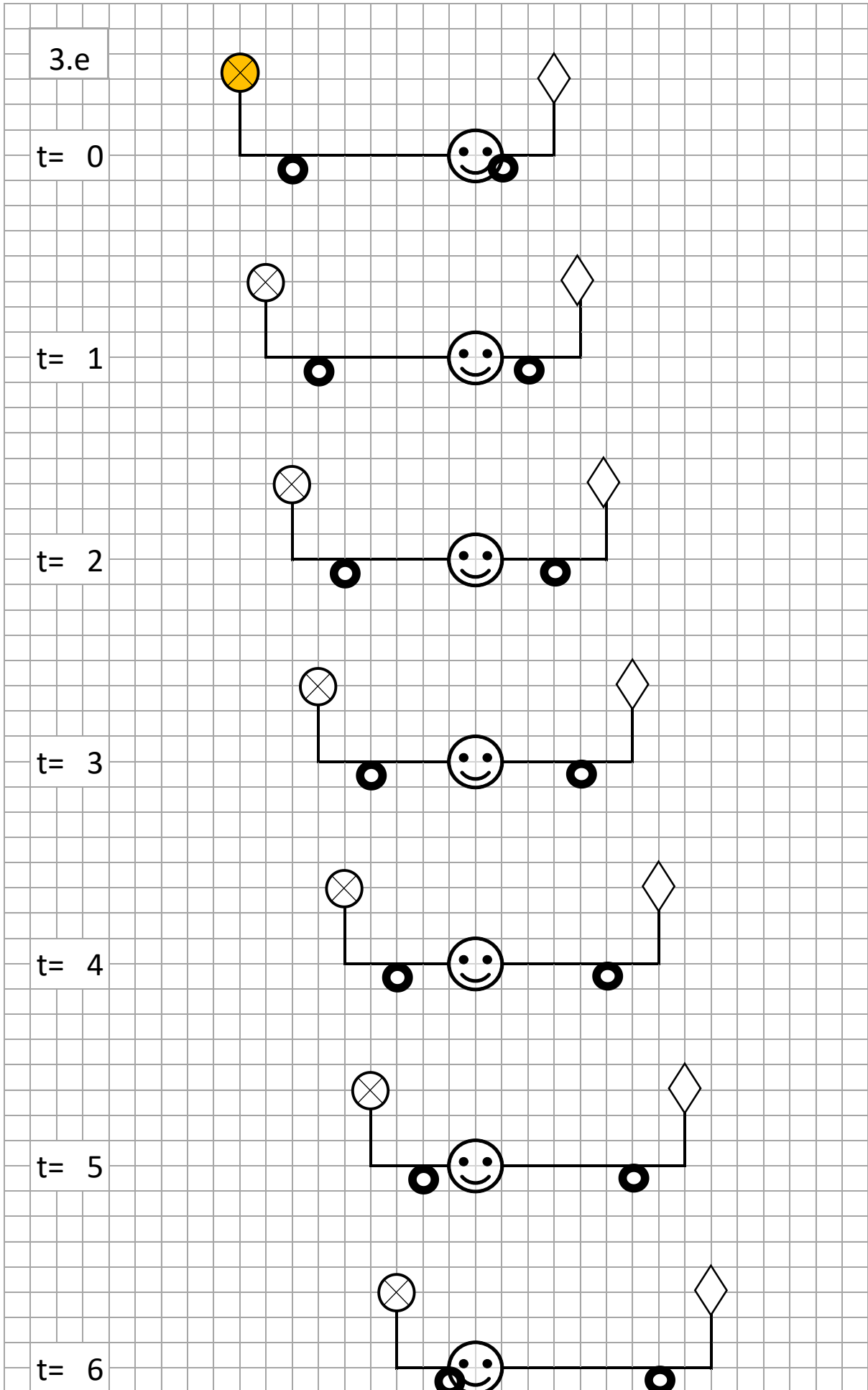


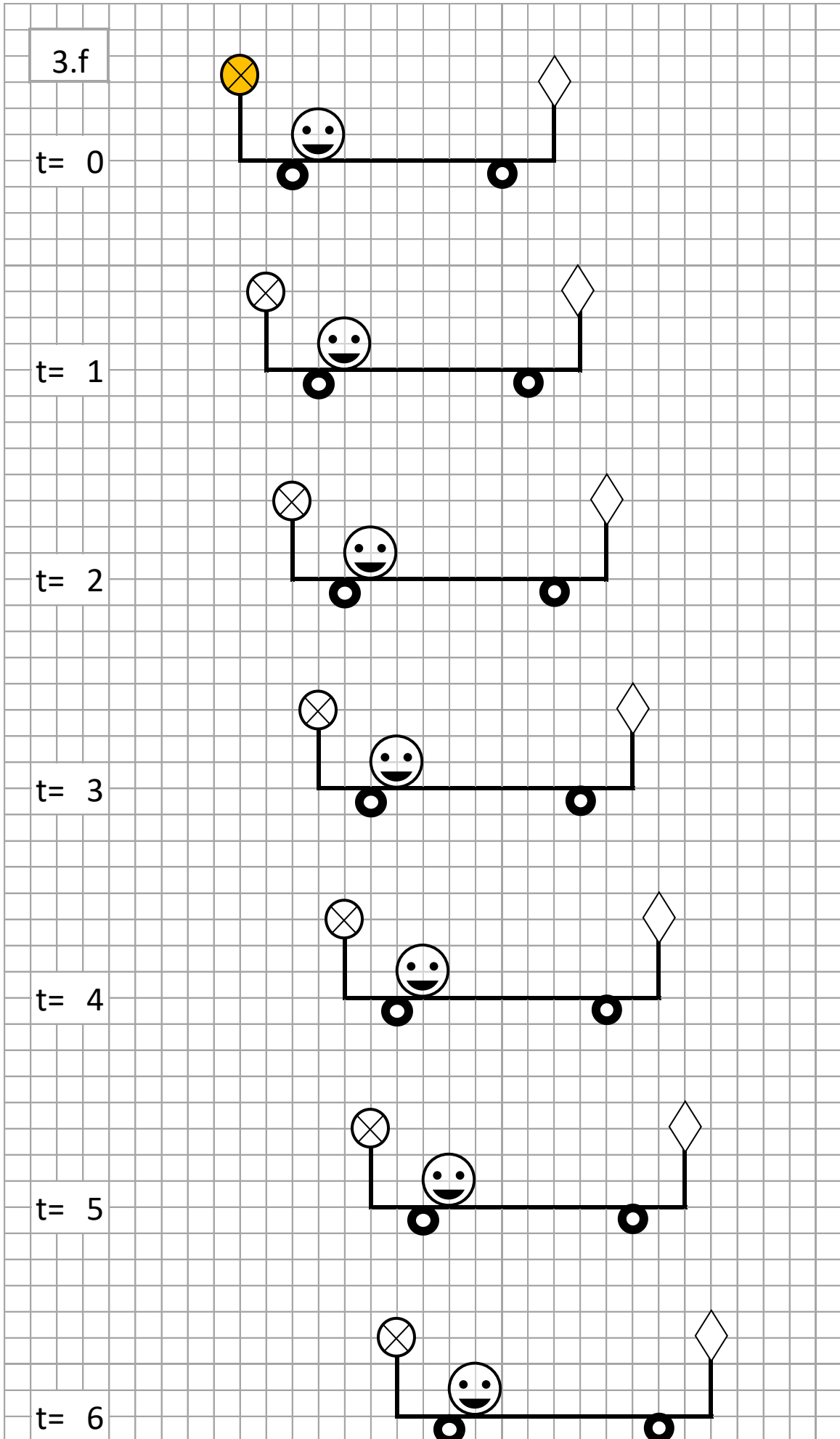














4. Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten om het als voortbewegingsmodel voor licht te kunnen gebruiken?

<p>Beginsituatie</p> <p>In voorgaande lessen zijn twee tekenregels voor lichtvoortplanting (ten opzichte van het papier en ten opzichte van de lichtbron) gebruikt om voorspellingen te doen. Het toepassen van deze tekenregels in dezelfde situaties levert verschillende voorspellingen op. Deze voorspellingen kunnen niet door een meting bevestigd worden. Dat roept de vraag op of een van de tekenregels een geschikt model kunnen zijn om het voortbewegen van licht te beschrijven. In deze lesactiviteit worden de tekenregels en de voorspellingen die daarmee gedaan zijn in opdracht 3.1 en 3.2 geanalyseerd met behulp van de resultaten van twee experimenten: De Sitter en Michelson Morley. Met deze resultaten kan worden bepaald of (een van) de tekenregel (s) geschikt is/zijn om het voortbewegen van licht te beschrijven.</p>																							
<p>Doel</p> <p>In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten om het als voortbewegingsmiddel voor licht te kunnen gebruiken?'. 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.</p>																							
<p>Activiteiten en docenthandelen</p>	<p>Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)</p>																						
<p>Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</p> <p>De docent vat de beginsituatie samen. De leerlingen bekijken twee filmpjes over DS en MM. DS (helemaal): https://www.youtube.com/watch?v=HXLj5J411nY MM (minuut 5.50-8.05): https://www.youtube.com/watch?v=uMaFB3jM2qs&t=24s</p> <p>De docent zet de leerlingen aan het werk met opdrachten 4.1 en 4.2. <i>Deze opdrachten begeleiden leerlingen om de uitkomsten van MM en DS toe te passen op de voorspellingen die gedaan zijn in de diagrammen van opdracht 3.1 en 3.2.</i></p> <p>In deze opdracht gebruiken leerlingen de conclusie van de experimenten om te bepalen op welke manier licht voortbeweegt in de diagrammen, en welk voortbewegingsmodel wordt bevestigd/gefalsificeerd.</p> <p>De experimenten geven slechts uitsluitsel over 1 van beide situaties, over de andere situatie zegt het experiment niks.</p> <p>Als we een experiment in dezelfde omstandigheden herhalen, verwachten we dezelfde uitkomst. Dat betekent dat de</p>	<p>Mogelijke uitkomsten</p> <table> <tr> <td>MM:</td> <td>DS:</td> </tr> <tr> <td>1. niet</td> <td>1. wel</td> </tr> <tr> <td>2. wel</td> <td>2. wel</td> </tr> <tr> <td>3. wel</td> <td>3. niet</td> </tr> <tr> <td>4. diagram B</td> <td>4. diagram A</td> </tr> <tr> <td>5. gelijk aan</td> <td>5. Gelijk aan</td> </tr> <tr> <td>6. A</td> <td>6. B</td> </tr> <tr> <td>7. B</td> <td>7. A</td> </tr> <tr> <td>8. stilstaat</td> <td>8. beweegt</td> </tr> <tr> <td>9. beweegt</td> <td>9. stilstaat</td> </tr> <tr> <td>10. beweegt</td> <td>10. beweegt</td> </tr> </table> <p>Het golfmodel wordt bevestigd in situatie 1 door het De Sitter Experiment, tegelijk wordt het deeltjesmodel in deze situatie gefalsificeerd.</p> <p>Het deeltjesmodel wordt bevestigd in situatie 2 door het Michelson Morley experiment, tegelijk wordt het golfmodel in deze situatie gefalsificeerd.</p>	MM:	DS:	1. niet	1. wel	2. wel	2. wel	3. wel	3. niet	4. diagram B	4. diagram A	5. gelijk aan	5. Gelijk aan	6. A	6. B	7. B	7. A	8. stilstaat	8. beweegt	9. beweegt	9. stilstaat	10. beweegt	10. beweegt
MM:	DS:																						
1. niet	1. wel																						
2. wel	2. wel																						
3. wel	3. niet																						
4. diagram B	4. diagram A																						
5. gelijk aan	5. Gelijk aan																						
6. A	6. B																						
7. B	7. A																						
8. stilstaat	8. beweegt																						
9. beweegt	9. stilstaat																						
10. beweegt	10. beweegt																						



<p>onderzoekers in de diagrammen dezelfde uitkomst zullen verwachten als MM/DS.</p> <p>De docent geeft de juiste antwoorden, leerlingen controleren hun eigen antwoorden.</p>	
<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</p> <p>De docent bevestigt de uitkomst van de gemaakte opdracht: <i>Licht beweegt in deze situaties op de bevestigde manier. Dat betekent dat tekenregel 1 (constante snelheid t.o.v. 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.</i></p> <p>(Opdracht 4.3)</p> <p>De docent laat leerlingen individueel reflecteren op de uitkomst van de opdracht aan de hand van de volgende vraag: zet de leerlingen aan om te reflecteren op de uitkomst van 4.1 en 4.2 aan de hand van de volgende reflectievraag (3 min): <i>Is een van deze tekenregels een geschikt voortbewegingsmodel voor licht?</i></p> <p>De docent geeft leerlingen de gelegenheid om hun antwoorden uit te wisselen met een klasgenoot. (2 min).</p>	<p>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</p> <p>Licht beweegt of als golf of als deeltje. Licht beweegt zich als golf en als deeltje. Licht beweegt zich als golf in situatie 1 en als deeltje in situatie 2. Je moet eerst uitzoeken of licht zich als golf of als deeltje gedraagt voordat je de snelheid weet. Hoe kan het dat licht in situatie 1/2 sneller/langzamer gaat dan de lichtsnelheid? Licht beweegt in ieder geval zoals bevestigd door de experimenten. Licht beweegt met een constante snelheid t.o.v. de onderzoeker.</p>
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>De docent haalt de verschillende leerling denkbeelden naar voren.</p> <p>De docent werkt in een socratisch gesprek met de klas toe naar een definitief antwoord op de reflectievraag. <i>De tekenregels geven allebei geen geschikt algemeen model om het voortbewegen van licht te beschrijven.</i></p> <p>De docent roept in dit gesprek ook de vraag op wat dan wel een goed model voor voortbewegen van licht kan zijn. <i>Waarom mag je die twee modellen niet meer gebruiken?</i></p> <p>Mogelijkheden om door te vragen: <i>Wat moet je doen in een situatie waarin de beweging weer anders is?</i> <i>We zijn op zoek naar een eenduidig mechanisme...</i></p>	<p>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</p> <ul style="list-style-type: none">• Blijven hangen in hierboven genoemde ideeën.• een van de tekenregels is nog steeds zinvol om te gebruiken.• Hoe weet je of het tekenregel 1 of juist 2 is?• Waardoor wordt lichtsnelheid bepaald?• Hoe beweegt licht nou echt?



<p><i>Kan je de oude modellen nog gebruiken? Wat weten we aan de hand van de experimenten (MM & DS) over hoe licht zich voortbeweegt?</i></p> <p>De docent controleert of de eerdere tekenregels ondertussen echt exit zijn.</p>	
<p>Fase 4: Consolideren (Eindsituatie)</p> <p>De docent vat samen wat de afgelopen discussie heeft opgeleverd: <i>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 in al deze gevallen toepasbaar is?</i></p> <p>Leerlingen maken (thuis) consolidatieopdracht 4.4 en 4.5.</p>	<p><i>Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...</i></p>



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

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Kan een van de tekenregels bevestigd worden door experimenten om het als voortbewegingsmiddel voor licht te kunnen gebruiken?'. 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.



Opdracht 4.1: Redeneeropdracht - Michelson-Morley Experiment

Michelson en Morley hebben de lichtsnelheid op aarde gemeten. Een lichtbron maakte deel uit van hun meetopstelling. Met hun opstelling hebben Michelson en Morley de lichtsnelheid van licht dat voortbewoog in de bewegingsrichting van de aarde gemeten en de lichtsnelheid van licht dat loodrecht voortbewoog op de bewegingsrichting van de aarde. Michelson en Morley hebben gemeten dat de lichtsnelheid steeds dezelfde waarde had. Ongeacht van de bewegingsrichting van het licht of hoe de aarde door het heelal beweegt.

Daaruit concluderen Michelson en Morley dat de gemeten lichtsnelheid steeds gelijk is, onafhankelijk van richting waarin de onderzoeker en lichtbron door de ruimte bewegen.

Beweging

1. In het Michelson-Morley experiment bewegen de waarnemer en de lichtbron *wel/niet* ten opzichte van elkaar.
2. In het Michelson-Morley experiment bewegen de waarnemer en het heelal *wel/niet* ten opzichte van elkaar.
3. In het Michelson-Morley experiment bewegen de lichtbron en het heelal *wel/niet* ten opzichte van elkaar.
4. Het experiment lijkt op de situatie in diagram: _____

Het Michelson-Morley experiment in het Gebeurtenisdiagram

De onderzoeker in de diagram gaat nu ook de lichtsnelheid meten. Met het meetinstrument meet de onderzoeker de snelheid van het licht dat afkomstig is van de linker lamp en de rechter lamp. **De bevindingen van de onderzoeker komen overeen met die van het experiment van Michelson en Morley.**

1. De onderzoeker zal het volgende meten aan licht dat afkomstig is van de linker- en rechterlamp: De snelheid van licht dat afkomstig is van de linker lamp is volgens de onderzoeker *groter dan/kleiner dan/gelijk aan* de snelheid van licht dat afkomstig is van de rechter lamp.
2. Welke tekenregel beschrijft deze bevinding het beste?
 - a. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de lichtbron.*
 - b. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de achtergrond.*
3. Welke tekenregel is ontkracht door het experiment?
 - a. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de lichtbron.*
 - b. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de achtergrond.*

Geldigheid van de conclusie

De tekenregel die klopt met de uitkomst van het experiment is geldig als:

1. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de waarnemer.
2. De waarnemer *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.
3. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.



Opdracht 4.2: Redeneeropdracht - De Sitter Experiment

De Sitter deed metingen aan de lichtsnelheid afkomstig van dubbelsterren. In een dubbelster roteren twee sterren om een gedeeld massamiddelpunt. De Sitter vond dat al het licht afkomstig van zo'n dubbelster dezelfde snelheid had. Dubbelsterren roteren met een hele hoge snelheid. De snelheid van de aarde ten opzichte van het massamiddelpunt van de dubbelster kunnen we daarom verwaarlozen.

Daaruit concludeert De Sitter dat de gemeten lichtsnelheid steeds gelijk is, zowel voor licht dat afkomstig is van de ster die van de aarde af beweegt als voor licht dat afkomstig is van de ster die naar de aarde toe beweegt.

Beweging

1. In het De Sitter experiment bewegen de lichtbronnen en de onderzoeker wel/niet ten opzichte van elkaar.
2. In het De Sitter experiment bewegen de lichtbronnen en het massamiddelpunt van de dubbelster wel/niet ten opzichte van elkaar.
3. In het De Sitter experiment bewegen de onderzoeker en het massamiddelpunt van de dubbelster wel/niet ten opzichte van elkaar.
4. Het experiment lijkt op de situatie in diagram: _____

Het De Sitter experiment in het Gebeurtenisdiagram

De onderzoeker in de diagram gaat nu ook de lichtsnelheid meten. Met het meetinstrument meet de onderzoeker de snelheid van het licht dat afkomstig is van de linker lamp en de rechter lamp. **De bevindingen van de onderzoeker komen overeen met die van het experiment van De Sitter.**

1. De onderzoeker zal het volgende meten aan licht dat afkomstig is van de linker- en rechterlamp: De snelheid van licht dat afkomstig is van de linker lamp is volgens de onderzoeker *groter dan/kleiner dan/gelijk aan* de snelheid van licht dat afkomstig is van de rechter lamp.
2. Welke tekenregel beschrijft deze bevinding het beste?
 - a. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de lichtbron.*
 - b. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de achtergrond.*
3. Welke tekenregel is ontkracht door het experiment?
 - a. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de lichtbron.*
 - b. *Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de achtergrond.*

Geldigheid van de conclusie

De tekenregel die klopt met de uitkomst van het experiment is geldig als:

1. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de waarnemer.
2. De waarnemer *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.
3. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.



Opdracht 4.3: Reflectieopdracht

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

Opdracht 4.4: Verwerkingsvragen

Kijk voor deze opdracht alleen naar de uitwerkingen in de diagrammen die bevestigd zijn door de experimenten.

Vragen bij diagram 3.a

1. Wat is de snelheid van het licht naar rechts?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Tenopzichte van het ruitjespapier.
2. Wat is de snelheid van het licht naar links?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.

Vragen bij diagram 3.b

3. Wat is de snelheid van het licht naar rechts?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.
4. Wat is de snelheid van het licht naar links?
 - a. Ten opzichte van de onderzoeker.
 - b. Ten opzichte van de lichtbron.
 - c. Ten opzichte van het ruitjespapier.

Opdracht 4.5: Beantwoorden lesvraag

1. Geef een antwoord op de lesvraag: Kan een van de tekenregels gebruikt worden experimenten om het als voortbewegingsmodel voor licht te gebruiken?

5. Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?

Beginsituatie

De vorige activiteit heeft laten zien dat zowel het golf- als het deeltjesmodel geen algemeen voortbewegingsmodel voor licht opleveren. Dat roept de vraag op of er een ander voortbewegingsmodel mogelijk is dat wel algemeen gebruikt kan worden. Deze activiteit richt zich op het ontwikkelen van dit nieuwe model.

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.

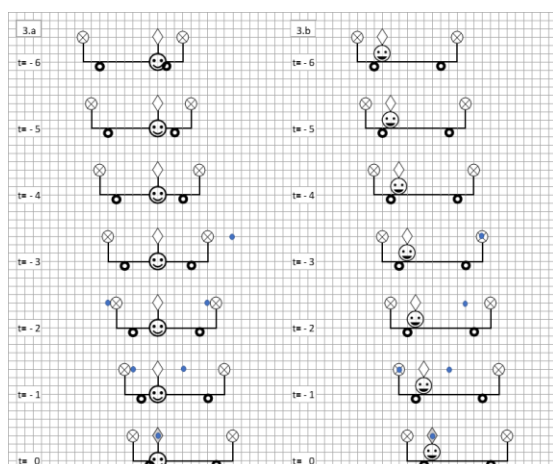
Activiteiten en docenthandelen

Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden

De docent vat de beginsituatie samen.
De docent toont leerlingen de bevestigde uitkomsten op het bord.

De docent laat leerlingen in tweetallen opdracht 5.1 maken. De helft van de tweetallen maken de opdrachten voor situaties vanuit een onderzoeker die naar een bewegende lichtbron kijkt (diagram 5.a), de andere helft juist voor onderzoekers die met de lichtbron mee bewegen (diagram 5.b).

De docent laat leerlingen opdracht 5.1 nakijken.



Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)

Mogelijke uitkomsten

Uitwerkingen 5.1
(Zie PPT bij les 5)



<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</p> <p>Leerlingen maken reflectieopdracht 5.2. Hierbij zijn de diagrammen met juiste uitkomsten geprojecteerd op het bord.</p> <p><i>Bedenk een tekenregel die tot dezelfde resultaten leidt. (Lege gebeurtenisdiagrammen om regel in uit te proberen in leerlingenboekje.)</i></p> <p>De docent geeft leerlingen de gelegenheid om hun antwoorden uit te wisselen met een klasgenoot.</p>	<p>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</p> <ul style="list-style-type: none">• Licht beweegt zich als tekenregel 1 in situatie 3.a en als tekenregel 2 in situatie 3.b.• Licht heeft steeds een constante snelheid• Licht beweegt met een constante snelheid t.o.v. de onderzoeker.• Je weet helemaal niks meer.
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>Uitwisselen: De docent haalt verschillende leerling versies van de tekenregel naar voren. De docent vraagt door: <i>Kunnen we van de tekenregel een voortbewegingsmodel maken?</i></p> <p>Eventueel andere vragen om sturing te geven aan het gesprek:</p> <p><i>Wat weten we nog wel zeker?</i> <i>Wat geldt in beide situaties?</i> <i>Ten opzichte waarvan is de lichtsnelheid wel constant?</i> <i>Ten opzichte waarvan heeft licht in beide situaties een constante snelheid?</i></p> <p>Docent formaliseert suggesties van leerlingen tot het lichtpostulaat: <i>Licht heeft een constante snelheid ten opzichte van de onderzoeker. Dit geldt voor alle onderzoekers, in alle situaties.</i></p>	<p>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</p>
<p>Fase 4: Consolideren</p> <p>De docent zet leerlingen in tweetallen aan het werk met opdracht 5.3. In deze oefening passen leerlingen het lichtpostulaat toe in een bekende situatie.</p> <p>De docent herhaalt het lichtpostulaat. De docent staat stil bij hoe bijzonder dit resultaat is.</p> <p>De docent roept een nieuwe vraag op: <i>Laten we aannemen dat het lichtpostulaat waar is, hoe pakt dat dan uit in nieuwe situaties.</i></p> <p>Leerlingen maken (thuis) consolidatieopdracht 5.4 en 5.5.</p>	<p>Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...</p>



Leerlingenboekje ‘5. Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?’

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag ‘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.

Opdracht 5.1: Redeneeropdracht

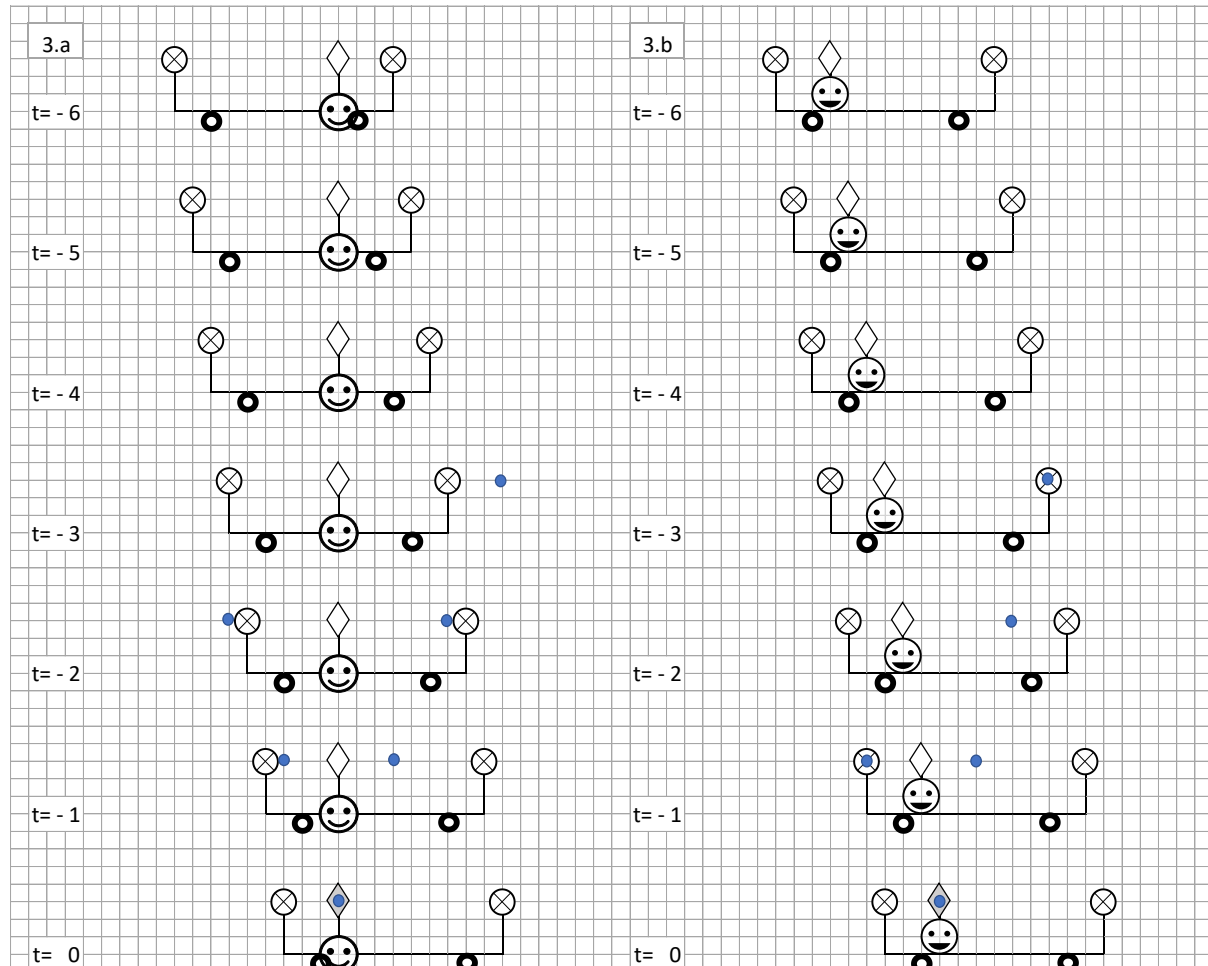
Vat de opbrengst van de afgelopen lessen in onderstaand schema samen.

Michelson Morley	De Sitter
Komt overeen met diagram	Komt overeen met diagram....
De lamp beweegt wel/niet t.o.v. de waarnemer	De lamp beweegt wel/niet t.o.v. de waarnemer
De waarnemer beweegt wel/niet t.o.v. de achtergrond	De waarnemer beweegt wel/niet t.o.v. de achtergrond
De lamp beweegt wel/niet t.o.v. de achtergrond	De lamp beweegt wel/niet t.o.v. de achtergrond
Snelheid licht t.o.v. waarnemer naar rechts: naar links:	Snelheid licht t.o.v. waarnemer naar rechts: naar links:
Snelheid licht t.o.v. lamp naar rechts: naar links:	Snelheid licht t.o.v. lamp naar rechts: naar links:
Snelheid licht t.o.v. ruitjespapier naar rechts: naar links:	Snelheid licht t.o.v. ruitjespapier naar rechts: naar links:

Opdracht 5.2: Reflectieopdracht

Gebruik de lege diagrammen van 5.a en 5.b voor deze opdracht.

In onderstaande diagrammen is weergegeven hoe licht beweegt. Deze resultaten zijn bevestigd door de experimenten.



De tekenregels die gebruikt zijn om deze resultaten te construeren kunnen niet meer in alle situaties gebruikt worden om kloppende voorspellingen te doen.

1. Geef een tekenregel waarmee je deze resultaten zou kunnen reproduceren.
2. Probeer je tekenregel uit in de lege diagrammen van 5.a en 5.b.
3. Ben je tevreden over je tekenregel? Leg je antwoord uit.



Opdracht 5.3: Verwerkingsopdracht

Gebruik bij deze opdracht diagram 5.c en 5.d.

Een passagier voor 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.

Vanuit de toeschouwer op het perron:

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

Vanuit de passagiers in de trein:

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

Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

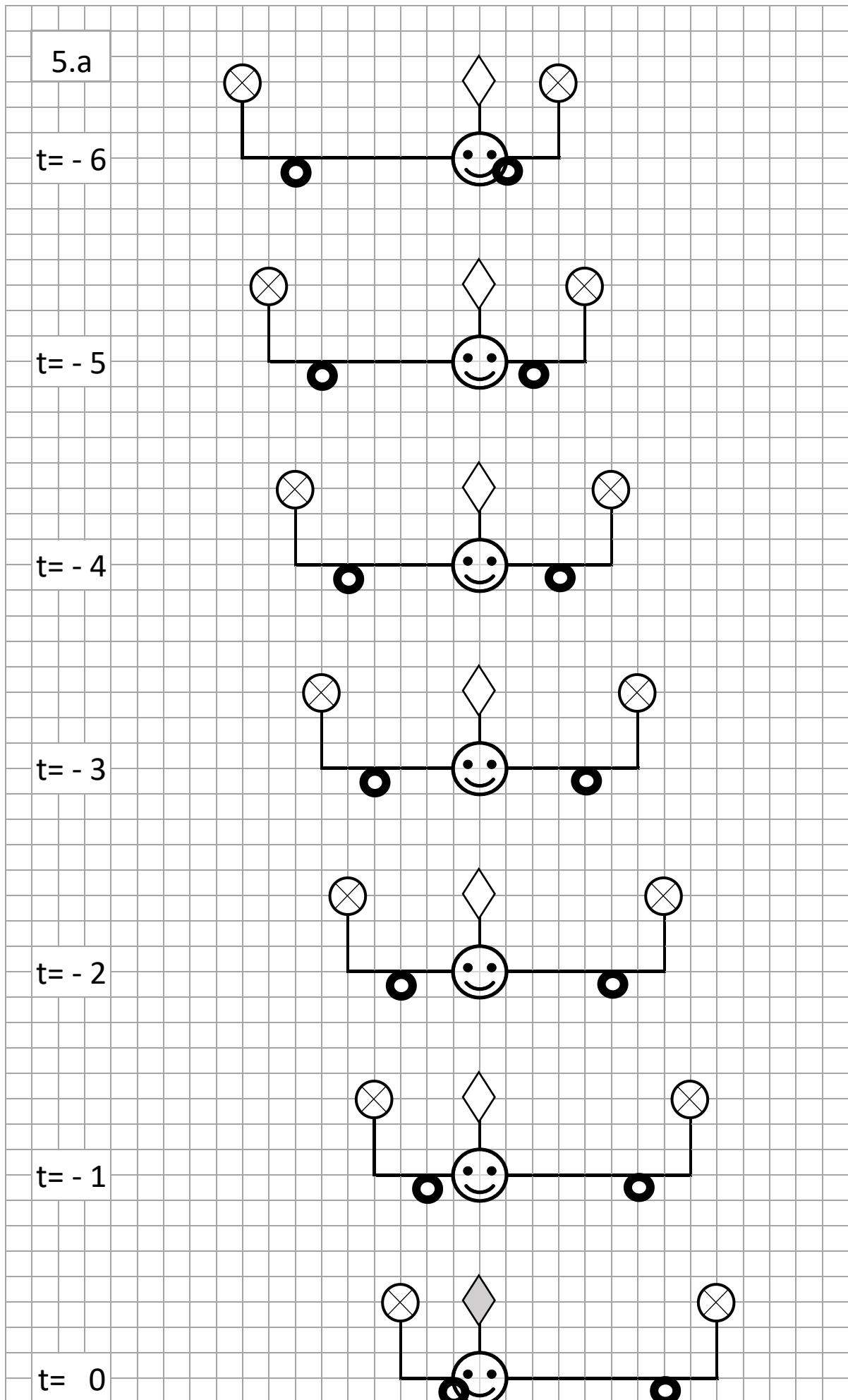
Opdracht 5.4: Verwerkingsopdracht

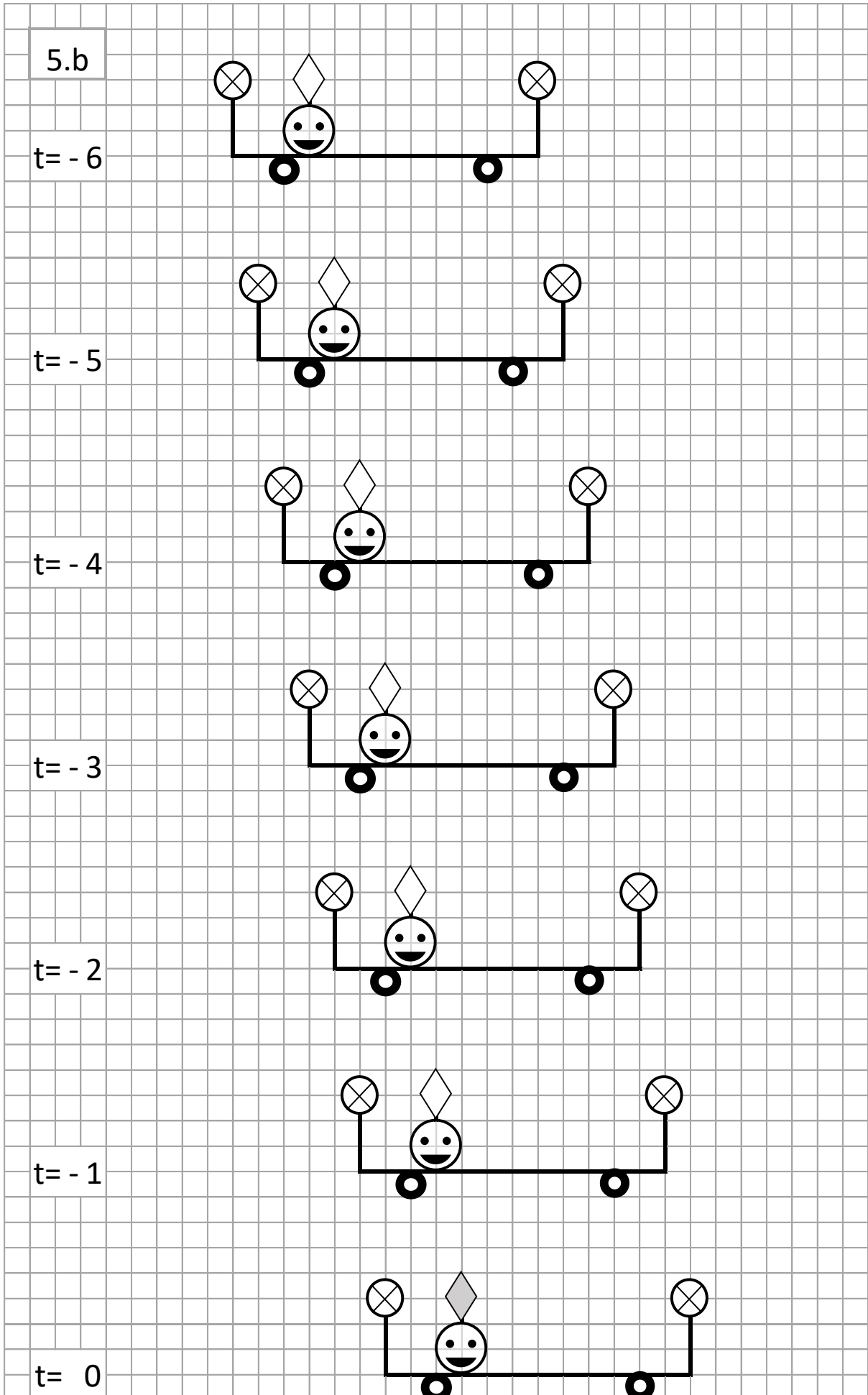
Gebruik voor deze opdracht diagrammen 5.e, 5.f, 5.g, 5.h.

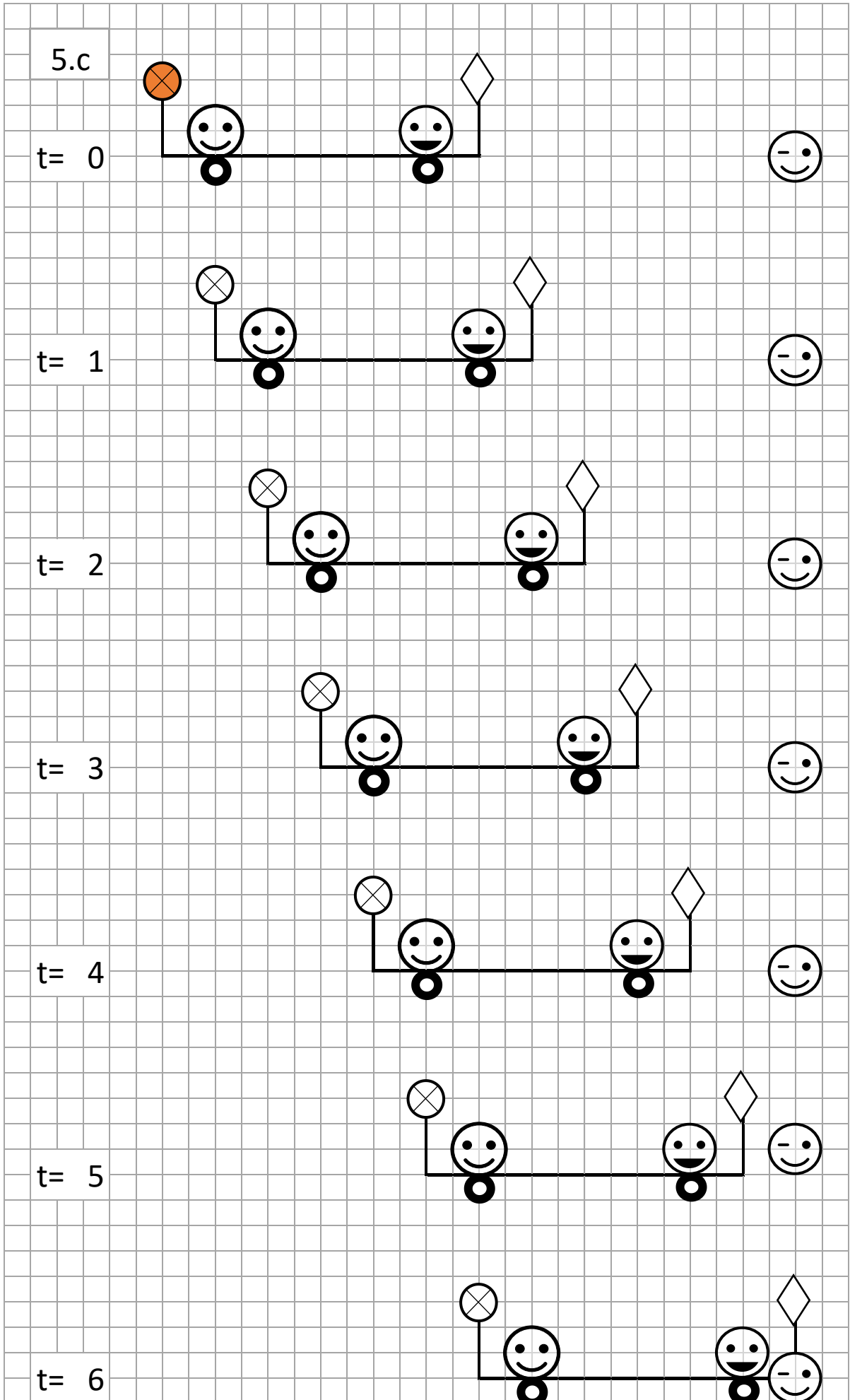
Teken het voortbewegen van licht in deze diagrammen voor de verschillende onderzoekers die staan weergegeven.

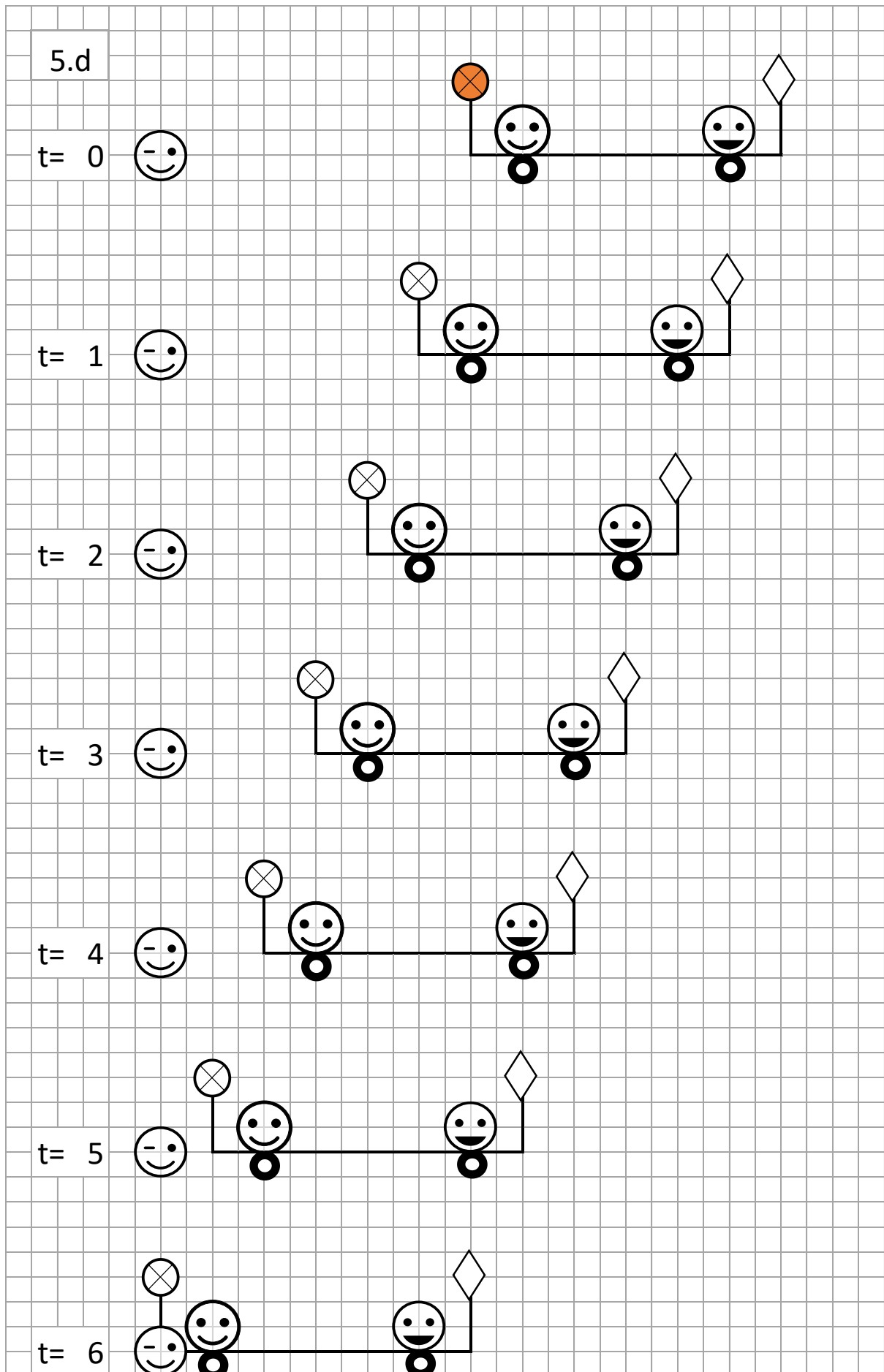
Opdracht 5.5: Beantwoorden lesvraag

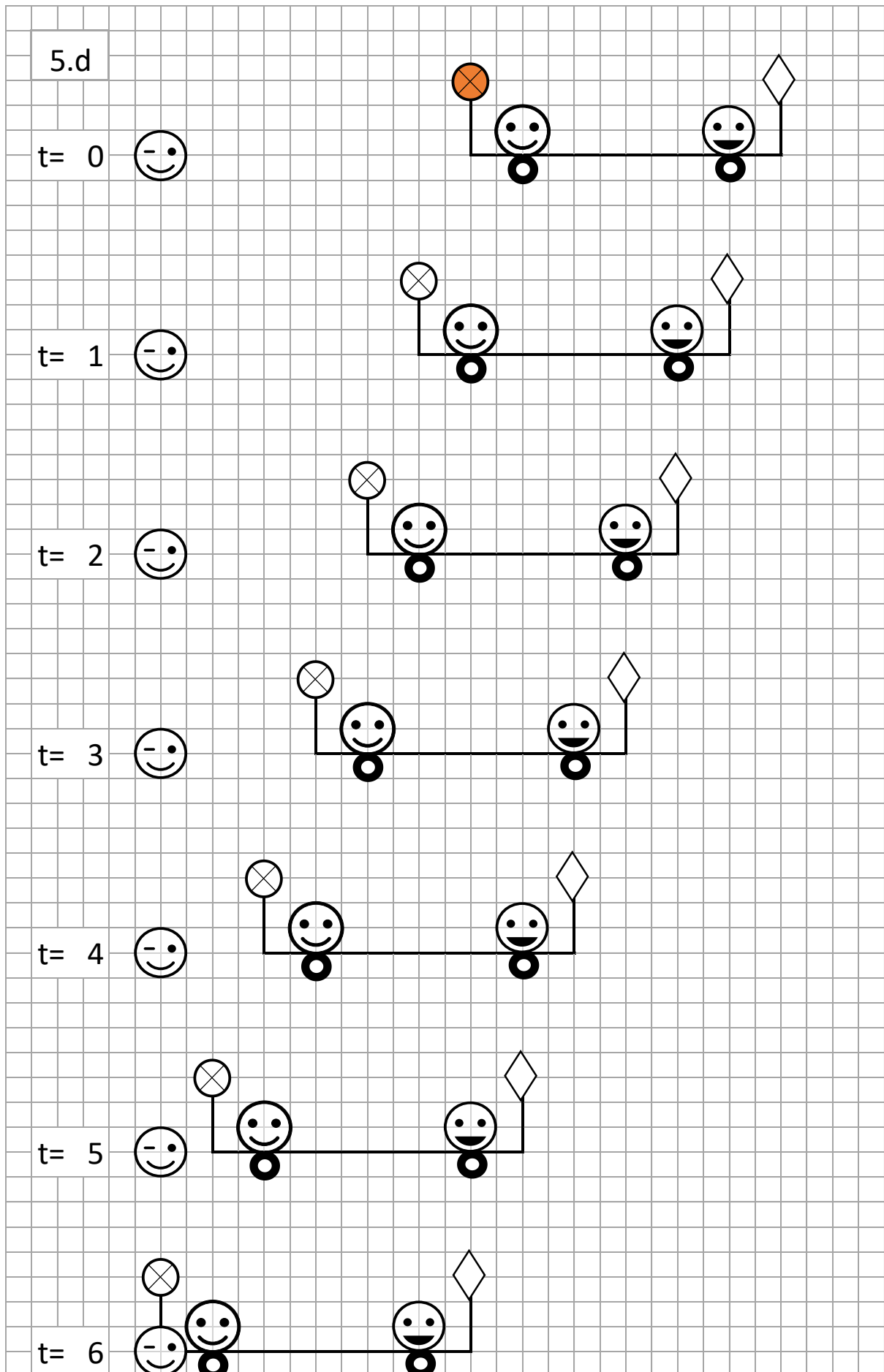
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?











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

Beginsituatie

De vorige activiteit heeft een nieuw voortbewegingsmodel voor lichtvoortplanting, het lichtpostulaat, opgeleverd. De docent heeft voorgesteld om aan te nemen dat het lichtpostulaat klopt, en te onderzoeken wat de gevolgen van het lichtpostulaat zijn in nieuwe situaties. In deze activiteit scherpt de docent deze vraag aan zodat deze zich beperkt tot het toekennen van plaats en tijd aan gebeurtenissen. Leerlingen passen het lichtpostulaat toe in nieuwe contexten zodat ze deze vraag kunnen beantwoorden. Tegelijk geeft deze activiteit de docent de gelegenheid om te zien of leerlingen het lichtpostulaat kunnen toepassen.

Doel

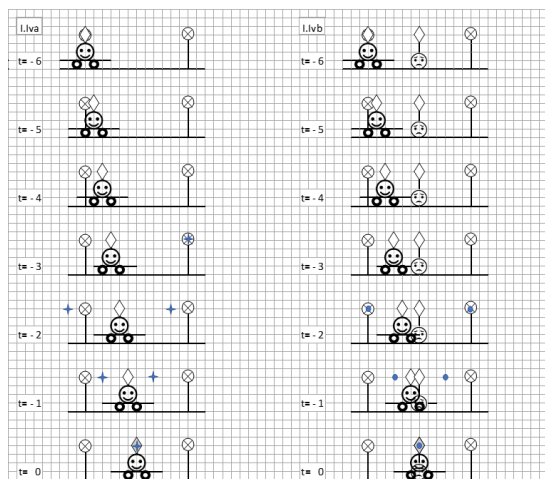
In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?'. Aan het eind van deze les kan je het lichtpostulaat in nieuwe contexten toepassen en kan je de gevolgen van dit voortbewegingsmodel voor het type voorspelling dat je daarmee kan doen uitleggen.

Activiteiten en docenthandelen

Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden

De docent vat de beginsituatie samen en scherpt de vraag aan zodat deze zich concentreert op de plaats en tijd die onderzoekers aan gebeurtenissen toekennen.

De docent laat de leerlingen individueel Inleveropdracht IV maken.



De docent neemt Inleveropdracht IV in.

De docent laat leerlingen in 2-tallen hun antwoorden van Inleveropdracht IV reproduceren op een nieuw diagram.

De docent geeft de juiste antwoorden, leerlingen kijken hun werk na.

Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)

Mogelijke uitkomsten

Correcte antwoord:

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 $t=-2$, $x=6$

Mogelijke incorrecte antwoorden:

I.IVa: lampen zijn gelijktijdig aangegaan (want de onderzoeker is in het midden);
Leerlingen vallen terug in een spontaan model.

<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</p> <p>De docent laat leerlingen op de uitkomst van 6.1 reflecteren aan de hand van de vraag: <i>Wat is het gevolg van het lichtpostulaat voor de plaats en tijd die onderzoekers toekennen aan dezelfde gebeurtenissen?</i> (Opdracht 6.2)</p> <p>De docent laat leerlingen eerst individueel over de vraag nadenken en vervolgens uitwisselen met de burens. (Denken, Delen.)</p>	<p>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</p> <p>Raar</p> <p>Er is geen gevolg van de tweede onderzoeker, beide onderzoekers moeten dezelfde uitkomst krijgen.</p> <p>Je kan niet voor twee onderzoekers licht in de diagrammen tekenen.</p> <p>Voor een van de onderzoekers lijkt het alsof het licht op een ander moment is verzonden.</p>
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>De docent haalt de verschillende leerlingdenkbeelden naar voren (uitwisselen).</p> <p>De docent vraagt door op leerlingantwoorden:</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Hoe verhoudt een logische uitkomst zich met een intuïtieve uitkomst?</i>• <i>Onze intuïtie gaat over lage snelheden. Logica en intuïtie komen samen bij deze snelheden.</i>• <i>Kunnen we de tegenintuïtieve uitkomst verklaren mbv het lichtpostulaat? (En het dus logisch maken)</i> <p>De docent werkt in een socratisch gesprek toe naar de beantwoording van de reflectievraag. <i>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.</i></p>	<p>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</p> <ul style="list-style-type: none">• Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor tijd?• Heeft een van de twee onderzoekers gelijk?• Hoe kan het dat licht zich op deze manier voortplant?• Is de lichtsnelheid voor beide onderzoekers wel gelijk?
<p>Fase 4: Consolideren</p> <p>De docent vat samen wat de afgelopen discussie heeft opgeleverd:</p> <p><i>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.</i></p> <p>De docent roept de vraag op wat de gevolgen van het lichtpostulaat voor tijdsduur zijn. Er moet hier wel iets gekks met tijd aan de hand zijn.</p> <p>Leerlingen maken (thuis) consolidatieopdrachten 6.3 en 6.4.</p>	<p>Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...</p>

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

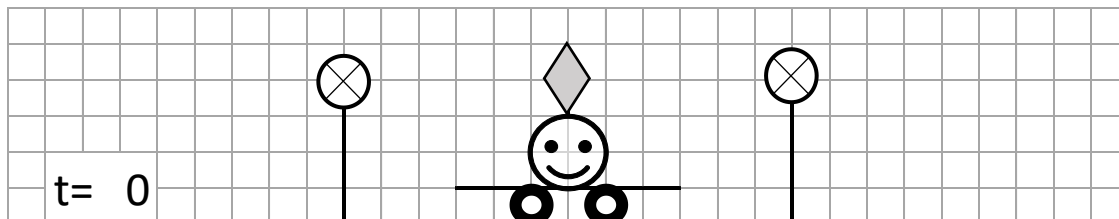
Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Wat zijn de gevolgen voor plaats en tijd van het lichtpostulaat?'. 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.

Opdracht 6.1: Redeneeropdracht

In deze opdracht bestuderen we een onderzoeker met een meetinstrument. Het meetinstrument registreert het moment waarop twee lichtflitsen gelijktijdig binnen komen. Je gaat uitzoeken op welke momenten de lichtflitsen verzonden zijn. De lichtflitsen zijn afkomstig van twee lampen, die na het uitzenden van hun lichtflits weer uit gaan. De opdracht bestaat uit een losse vraag, twee diagrammen en een aantal vragen waarbij je reflecteert op de uitkomsten van de diagrammen.

Bij deze opdracht neem je de plaats van de onderzoeker in. Hieronder zie je een deel van het diagram weergegeven. De ruit bij de onderzoeker geeft het meetinstrument weer. Een grijze ruit geeft aan dat de lichtflitsen door het meetinstrument zijn geregistreerd. De lampen zijn weergegeven met de schakelsymbolen van een lampje. Licht heeft opnieuw een snelheid van drie hokjes per tijdstapje in het diagram.



1. Leg in je eigen woorden uit hoe licht zich voortbeweegt.

Gebruik voor deze opdracht diagram 6.a

2. De laatste tijdstap $t=0$ geeft aan dat twee lichtsignalen bij de sensor van de onderzoeker zijn aangekomen. Bepaal door in de diagram te tekenen op welke plaats en tijdstip de lampen zijn aangegaan volgens deze onderzoeker.

Gebruik voor deze opdracht diagram 6.b

3. We bekijken dezelfde situatie, maar nu vanuit een andere onderzoeker, die in deze opdracht als de sip kijkende smiley is weergegeven. Op welke plaats en tijdstip zijn de lampen volgens deze onderzoeker aangegaan?
4. Komen de twee onderzoekers tot hetzelfde antwoord?
5. Welke vraag roept dat bij je op?



Opdracht 6.2: Reflectie-opdracht

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

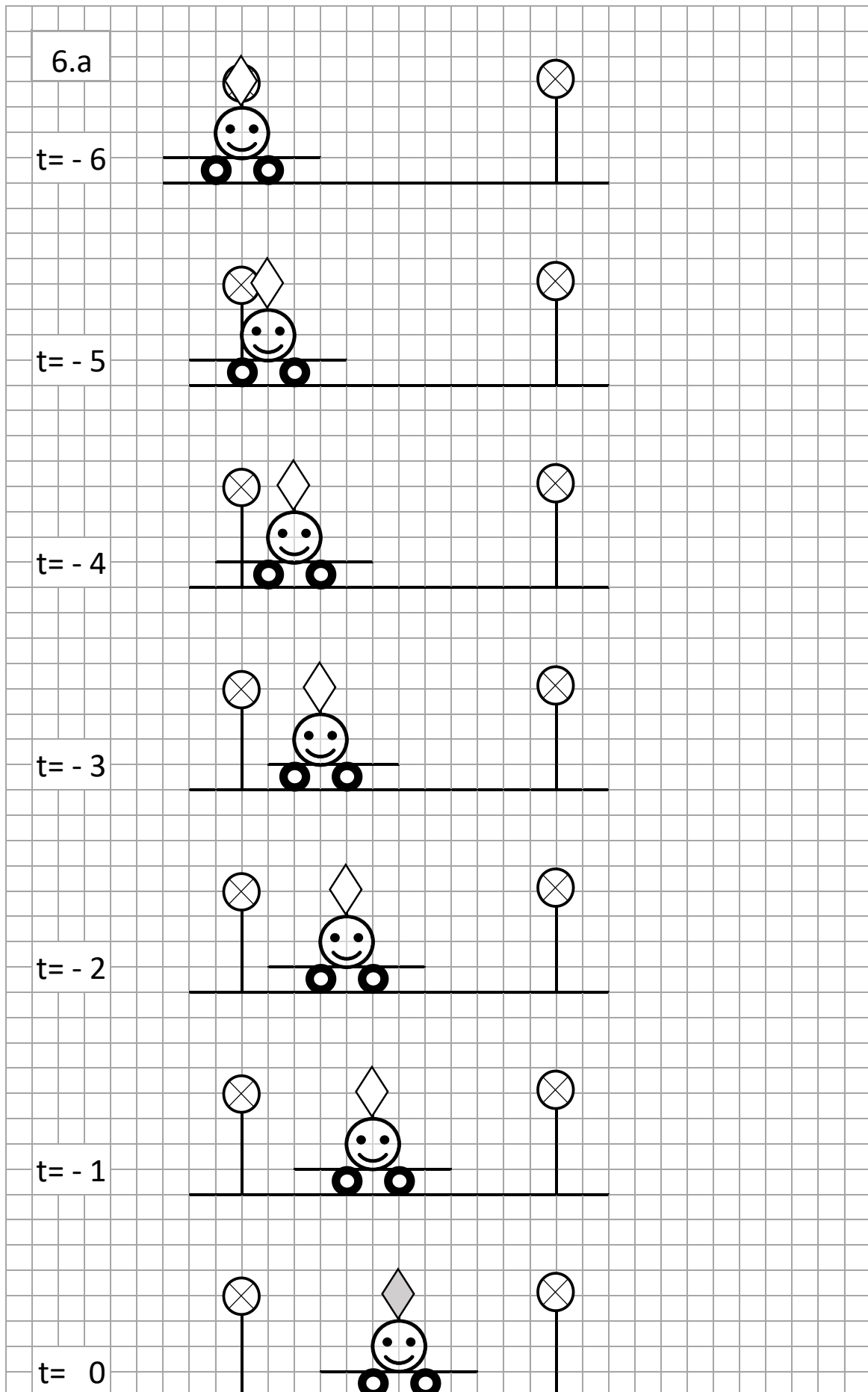
Opdracht 6.3: Verwerkingsopdracht

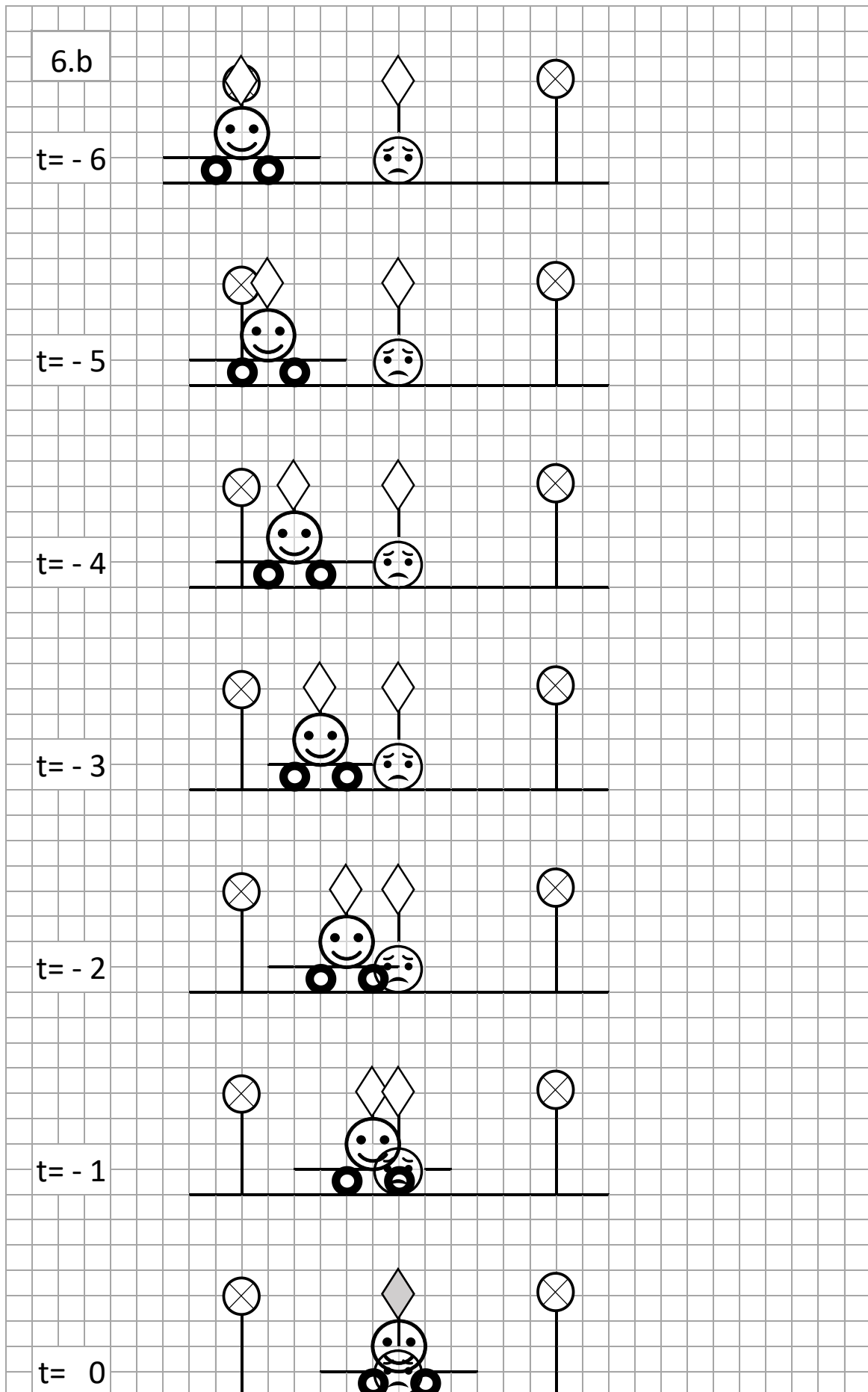
Gebruik bij deze opdracht diagram 6.c t/m 6.g

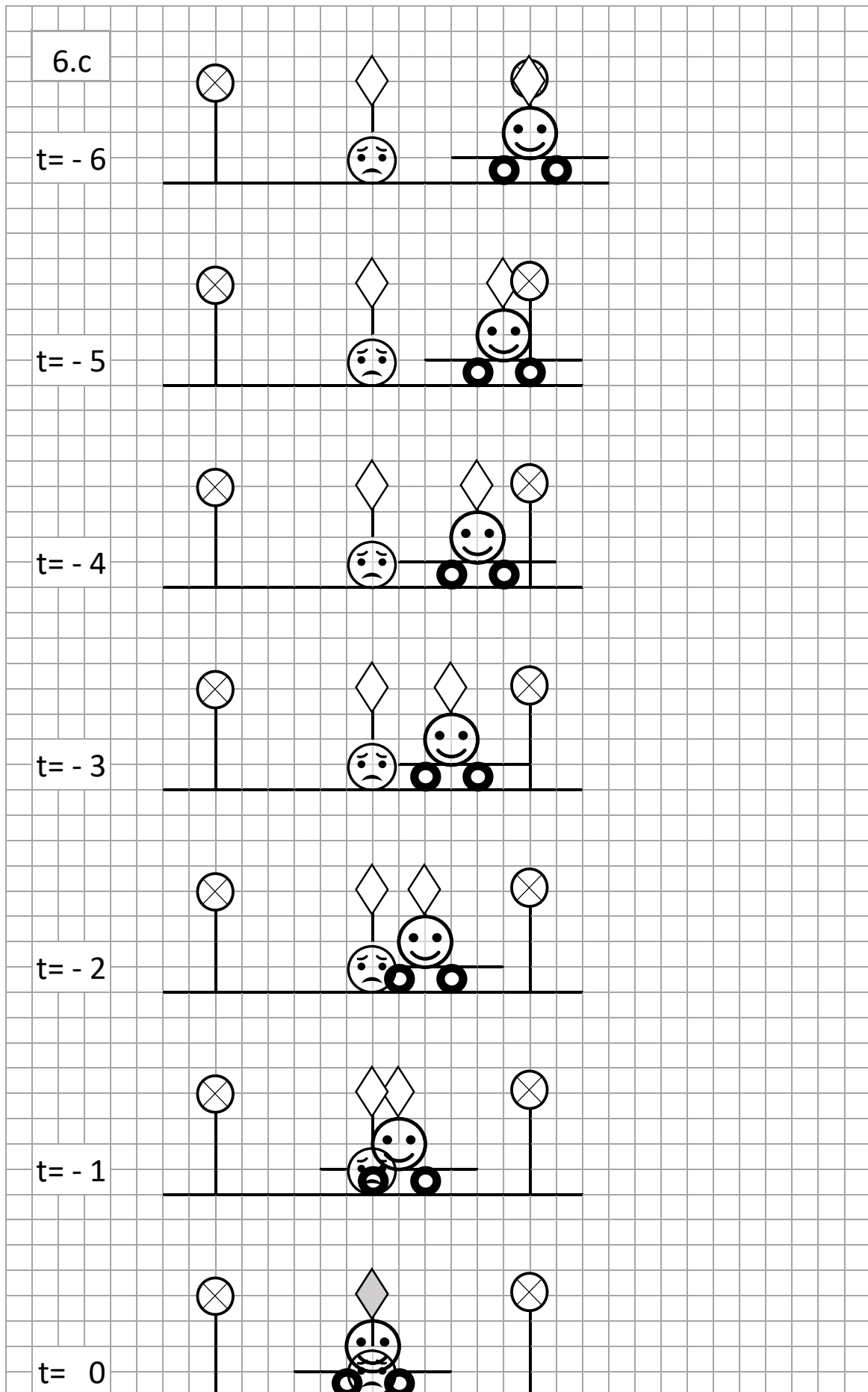
Extra oefening met lichtpostulaat. De laatste tijdstap $t=0$ geeft aan dat twee lichtsignalen bij de sensor van de onderzoeker zijn aangekomen. Bepaal door in de diagram te tekenen op welke plaats en tijdstip de lampen zijn aangegaan volgens deze onderzoeker. Herhaal deze opdracht voor de andere onderzoeker.

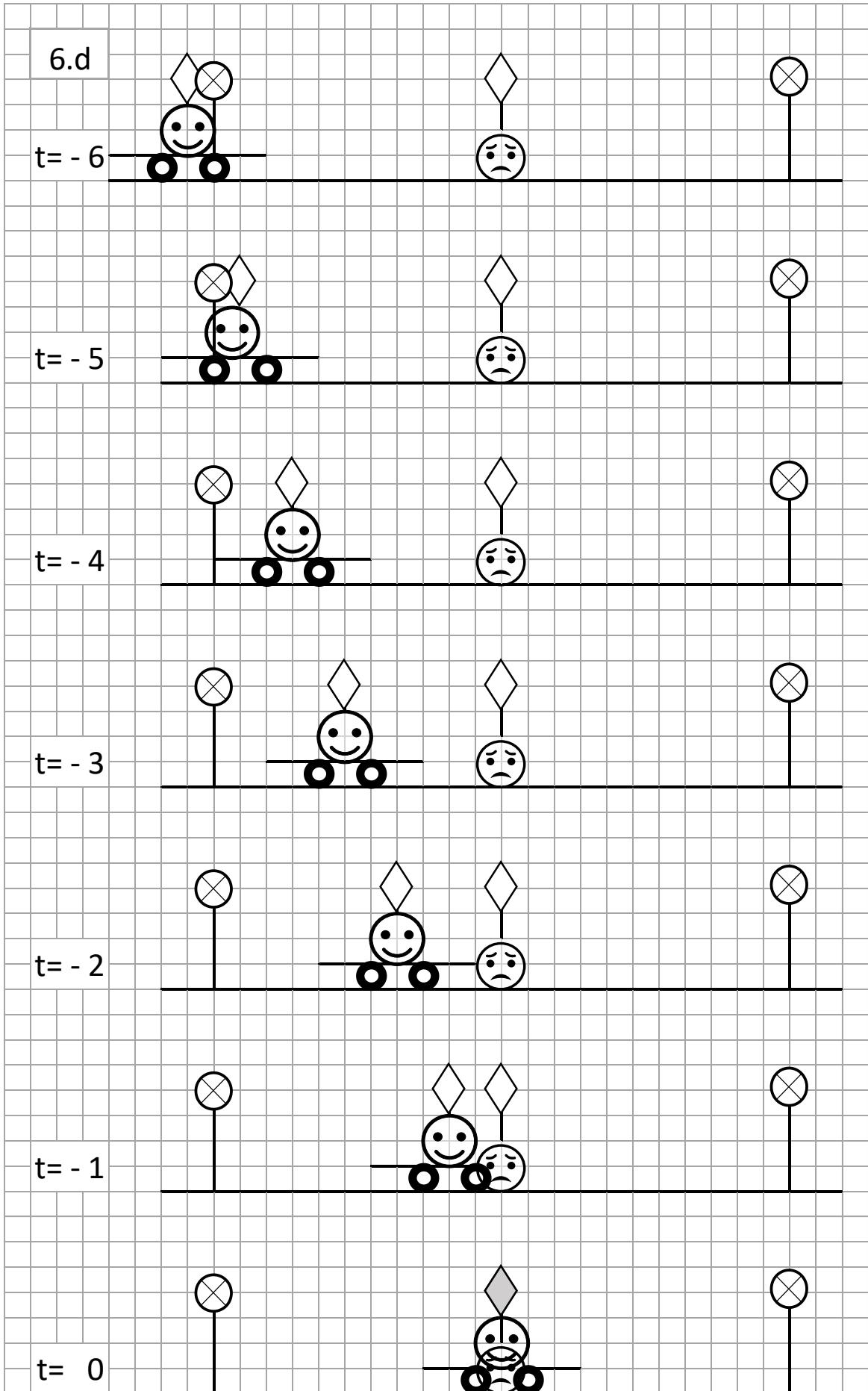
Opdracht 6.4: Beantwoorden lesvraag

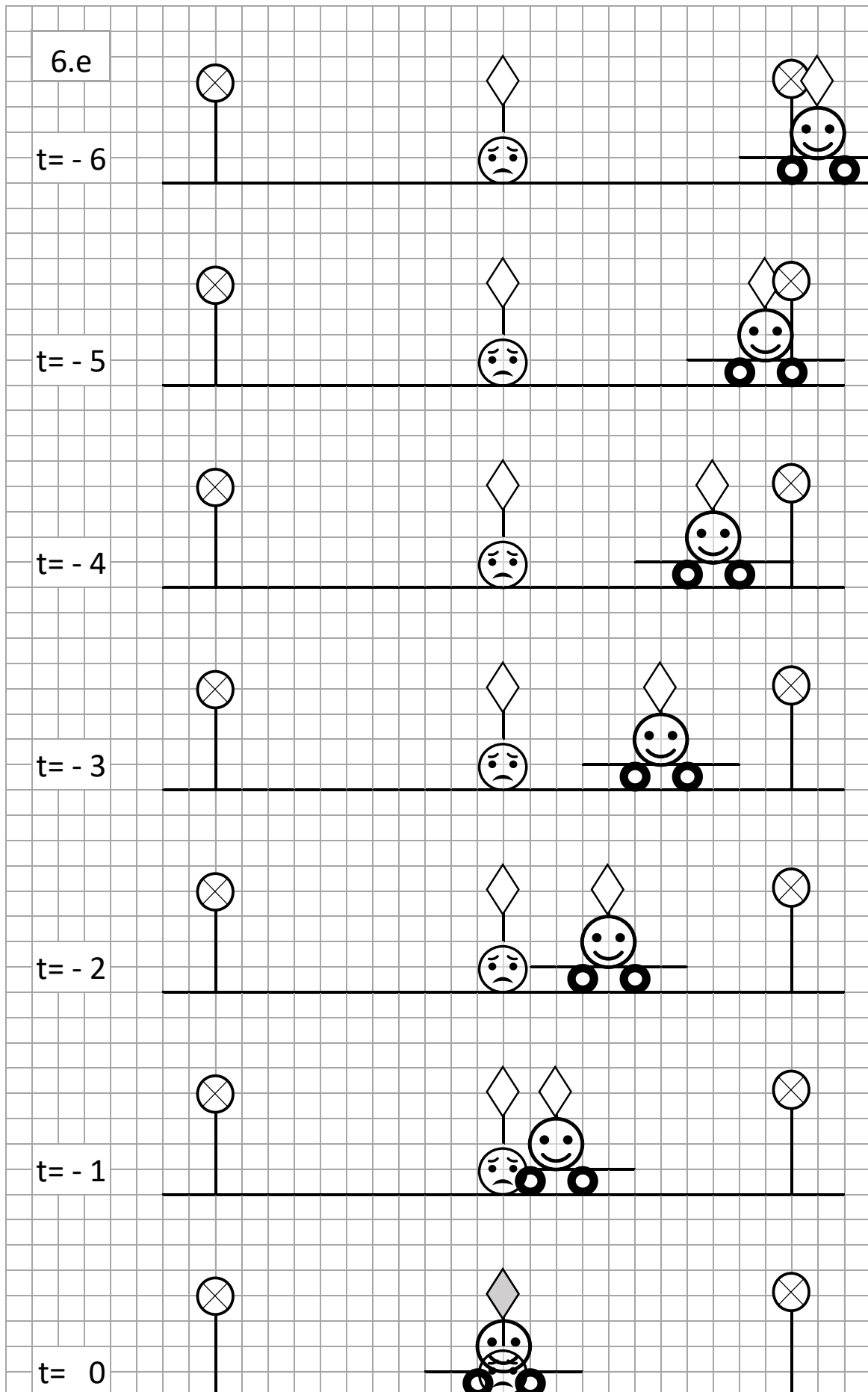
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Wat zijn de gevolgen voor plaats en tijd van het lichtpostulaat?

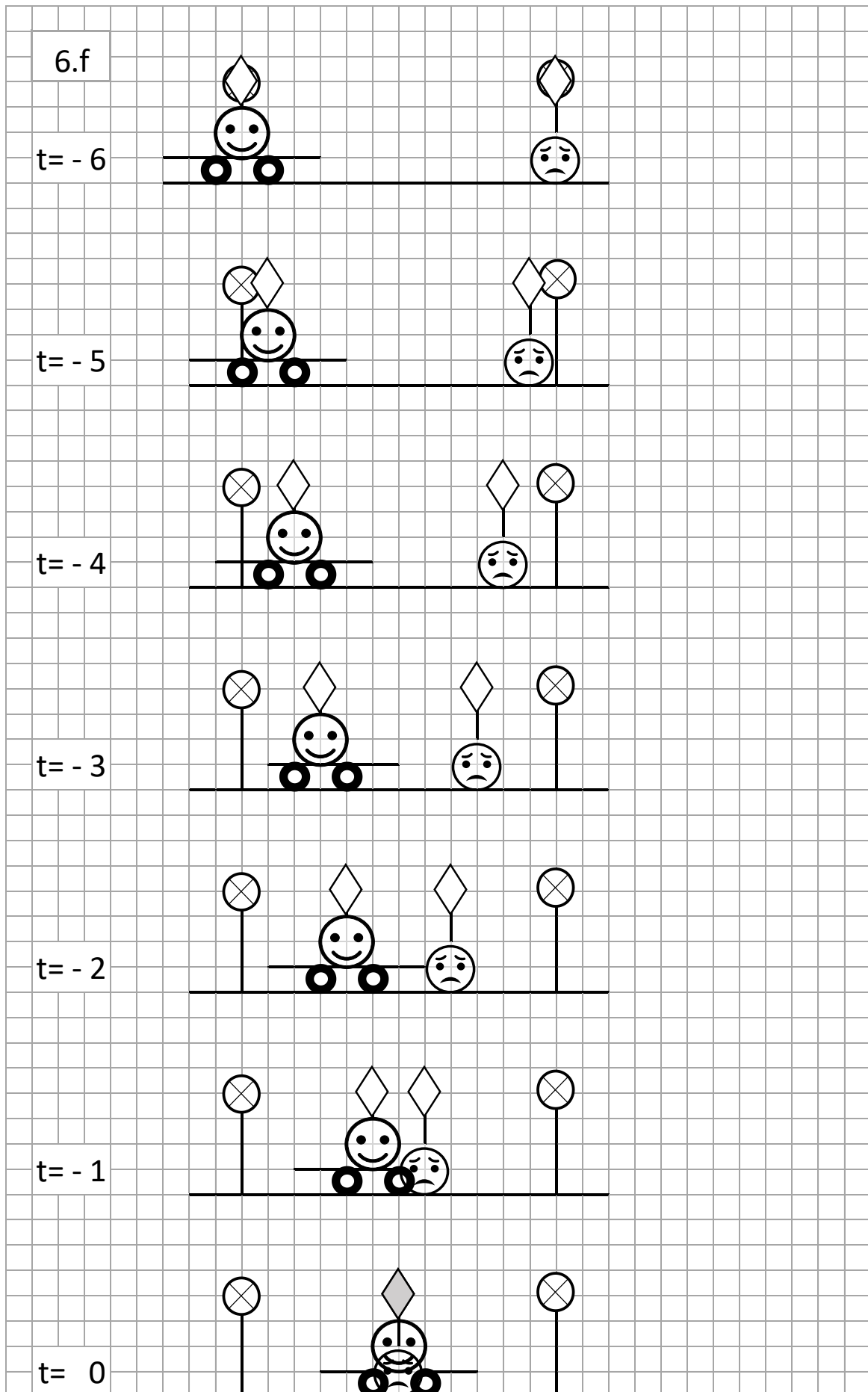


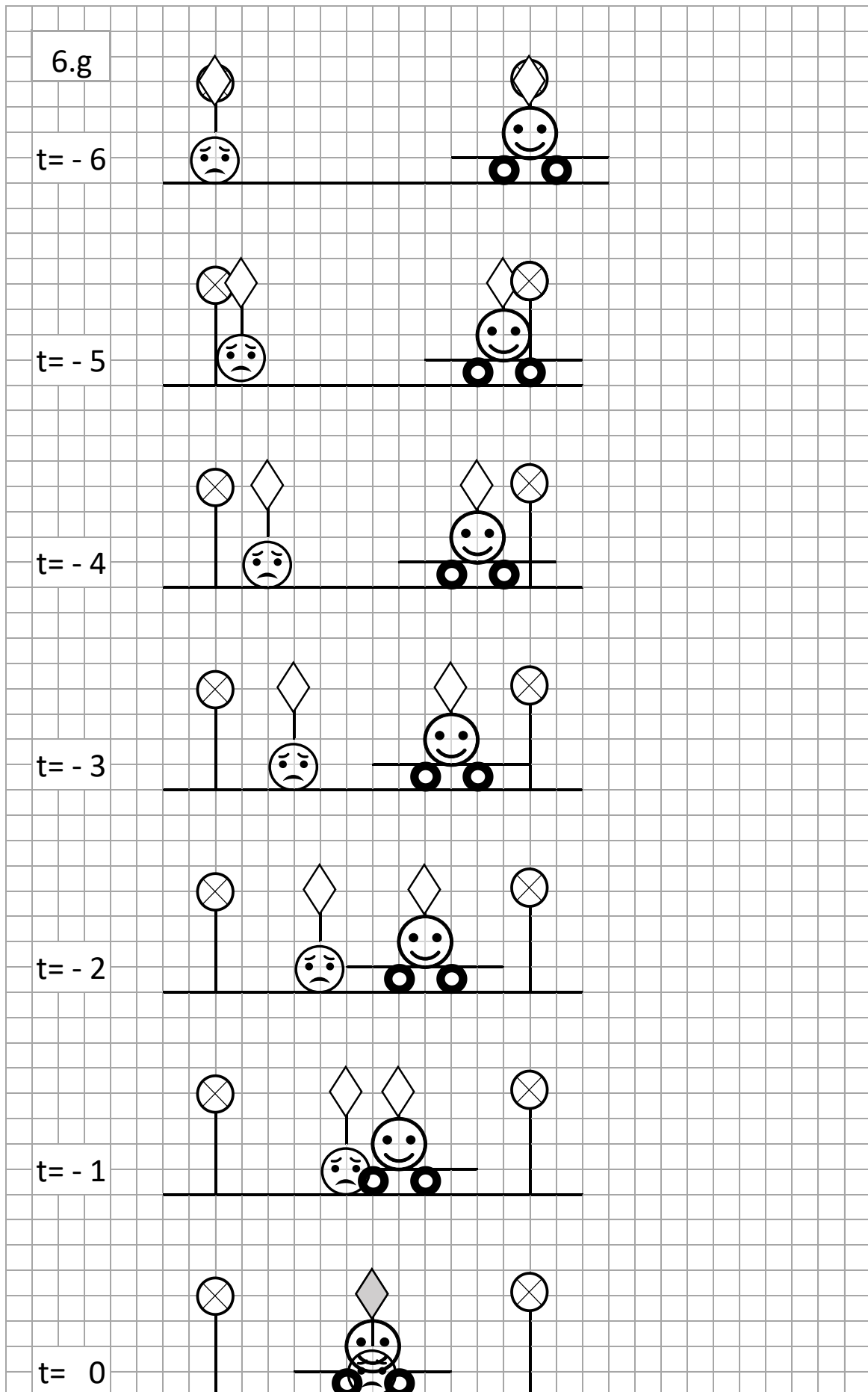














7. Wat is er aan de hand met tijdsduur?

<p>Beginsituatie</p> <p>In de voorgaande activiteiten hebben leerlingen het lichtpostulaat toegepast in een nieuwe situatie, waarin een waarnemer beweegt ten opzichte van de achtergrond en ten opzichte van de lichtbronnen. Daarnaast hebben leerlingen het lichtpostulaat toegepast in een situatie met twee waarnemers die een snelheid ten opzichte van elkaar hebben. De docent heeft benoemd dat het gevolg van het lichtpostulaat is dat twee onderzoekers die ten opzichte van elkaar bewegen aan dezelfde gebeurtenis een andere plaats en tijd toekennen. Er is dus iets vreemds aan de hand met tijdsduur. Bij de komende activiteiten wordt dat onderzocht.</p>	
<p>Doel</p> <p>In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.</p>	
<p>Activiteiten en docenthandelen</p>	<p>Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)</p>
<p>Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</p> <p>De docent herhaalt de beginsituatie. De docent benoemt dat de komende activiteit bedoeld is om te onderzoeken hoe het zit met tijdsduur bij twee onderzoekers die ten opzichte van elkaar bewegen.</p> <p>De docent deelt geplastificeerde gebeurtenisdiagrammen uit van opdracht 7.1. De docent geeft een introductie over het gedachte-experiment waarbij de gebeurtenissen waartussen de tijdsduur wordt gemeten expliciet worden benoemd.</p> <p>De docent instrueert leerlingen om in groepjes van 2 de opdracht 7.1 te maken (met bordstift, 5 minuten).</p> <p>De bevindingen worden kort uitgewisseld: docent geeft de opdracht om alle bordjes omhoog te houden.</p> <p>De docent geeft leerlingen de opdracht om hun bevindingen uit te wisselen met een ander groepje.</p> <p>De docent laat leerlingen de opdracht nakijken. Hierbij herhaalt de docent eventueel dat gebeurtenissen volgens alle onderzoekers plaats vinden.</p>	<p>Mogelijke uitkomsten</p> <p>*Leerlingen kunnen goed uit de voeten bij 7.a; bij 7.b kan het zijn dat leerlingen het licht niet op en neer laten gaan tussen de spiegels, maar gewoon recht omhoog. In dat geval 'mist' het licht de spiegel en gaat het niet meer op en neer.</p>



<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</p> <p>De docent laat leerlingen reflectieopdracht 7.2 maken: <i>Wat is de tijdsduur tussen de twee gebeurtenissen volgens de onderzoeker in 7.a en 7.b?</i></p> <p><i>Hoe verandert je antwoord als de snelheid tussen de onderzoekers toeneemt?</i> <i>Hoe verandert de verhouding van tijdsduur als het karretje de andere kant op rijdt?</i></p> <p>De docent laat leerlingen hun antwoord uitwisselen met een klasgenoot.</p>	<p>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</p> <p>Leerlingen zeggen dat het licht sneller gaat in 7.b (zodat de tijdsduur tussen de gebeurtenissen gelijk blijft); Leerlingen zeggen dat het licht meer tijd nodig heeft om de grotere afstand te overbruggen, dus het tijdsinterval tussen de twee gebeurtenissen is groter.</p> <p>Leerlingen ondersteunen hun redeneren met grotere of kleinere snelheid door de grafiek te imiteren met hun handen.</p>
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</p> <p>De docent haalt verschillende leerlingantwoorden naar voren. De docent vraagt door met:</p> <ul style="list-style-type: none">• 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? <p>Hierbij werkt de docent toe naar de conclusie dat als we aannemen dat de lichtsnelheid ten opzichte van alle onderzoekers gelijk is, onderzoekers dus verschillende tijdsduren tussen twee gebeurtenissen zullen meten.</p> <p><i>Onderzoekers die kijken naar twee gebeurtenissen op dezelfde positie meten een korter tijdsinterval dan onderzoekers die kijken naar dezelfde gebeurtenissen als die op twee verschillende plaatsen gebeuren. Bij lage relatieve snelheden verdwijnt het verschil tussen de waarnemingen van de onderzoekers.</i></p>	<p>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</p> <p>De leerlingen kunnen moeite hebben met het gegeven dat ze hier naar dezelfde twee gebeurtenissen kijken vanuit twee verschillende referentiekaders.</p>



Fase 4: Consolideren

De docent vat de bevindingen van het socratische gesprek samen.

Onderzoekers die kijken naar twee gebeurtenissen op dezelfde positie meten een korter tijdsinterval dan onderzoekers die kijken naar dezelfde gebeurtenissen als die op twee verschillende plaatsen gebeuren.

De docent roept de vraag op hoe de verhouding tussen die twee ref kaders nu precies zit. Kunnen we, als we de tijdsduur volgens de ene onderzoeker weten, de tijdsduur volgens de andere onderzoeker berekenen? => Daarvoor is een formule nodig die we nog moeten maken. => Kunnen we tot een exactere verhouding komen van de twee tijdsduren?

Kunnen we dit nu wiskundig onderbouwen?/Wat is de verhouding precies?

Hoe zit dat nu voor de andere waarnemer?

Leerlingen maken thuis opgave als de lichtklok bij de andere onderzoeker is. 7.3 t/m 7.6

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



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

Doel

In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag '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.

Opdracht 7.1: Redeneeropdracht

Gebruik voor deze opdracht diagrammen 7.a, 7.b en de (x,y)-diagrammen die zijn opgenomen na diagram 7.d.

We bekijken een set spiegels waar een lichtflits tussen 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.

Diagram 7.a is weergegeven vanuit de onderzoeker (A) die stilstaat ten opzichte van de spiegels.

1. Teken het pad van het licht voor onderzoeker A in diagram 7.a.
2. Hoe lang duurt het eenmaal op en neer kaatsen van het licht volgens onderzoeker A?
3. Teken het traject van het licht volgens onderzoeker A in de (x,y)-grafiek.

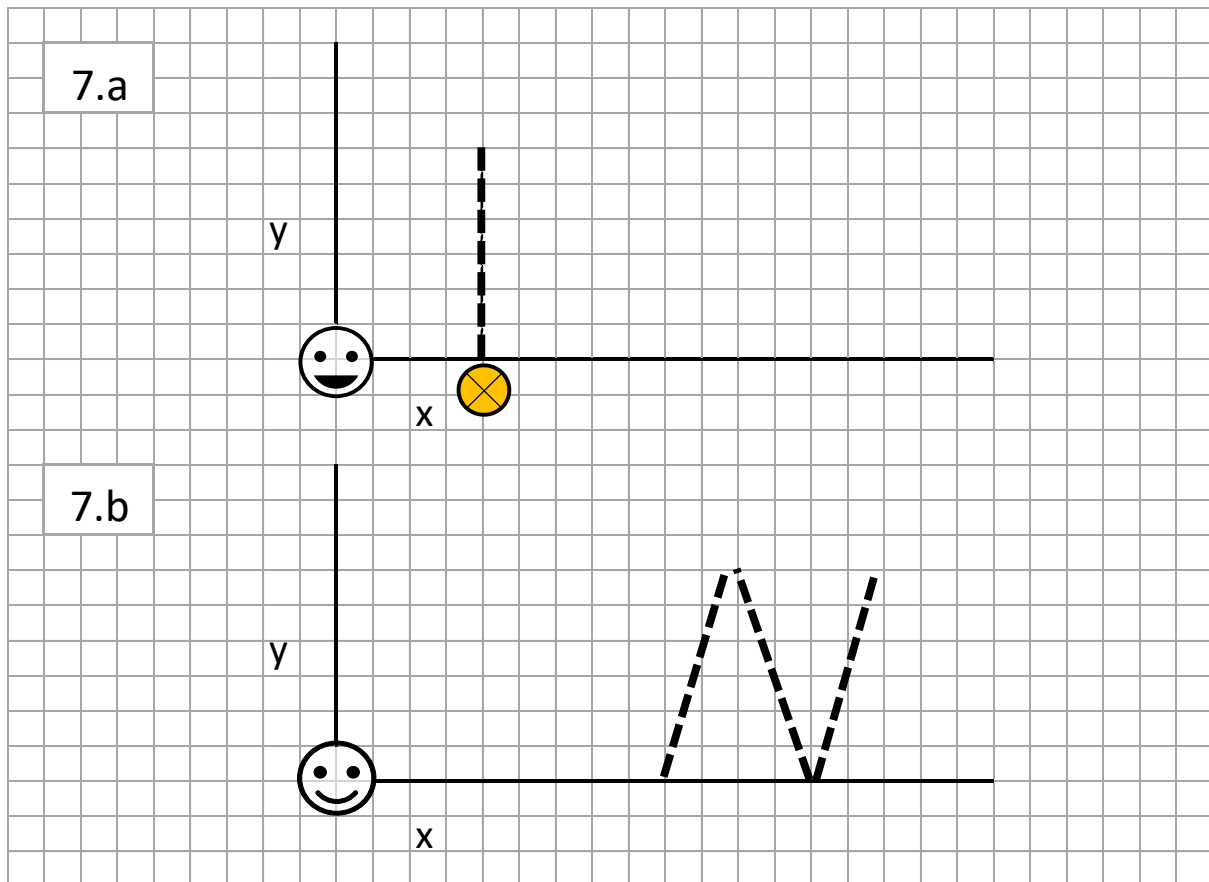
Diagram 7.b is weergegeven vanuit de onderzoeker (B) die naar bewegende spiegels kijkt.

4. Bepaal het pad van het licht voor onderzoeker B in diagram 7.b.
5. Teken het traject van het licht volgens onderzoeker B in de (x,y)-grafiek.

Opdracht 7.2: Reflectieopdracht

In het gedachte-experiment uit opdracht 7.1 gaat het om de tijdsduur tussen twee gebeurtenissen: het uitzenden van een lichtflits door een lampje (gebeurtenis 1) en dat de lichtflits weer bij de onderste spiegel is (gebeurtenis 2). In de figuur op de volgende pagina staat de route weergegeven die het licht ten opzichte van onderzoeker A en B heeft afgelegd.

1. Hoe groot 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 onderlinge snelheid tussen onderzoeker A en B toeneemt? Leg je antwoord uit.
4. Wat verandert er als de onderlinge snelheid in grootte gelijk blijft, maar wel de andere kant op gaat? Leg je antwoord uit.



Opdracht 7.3: Redeneeropdracht 2

Gebruik voor deze opdracht diagrammen 7.c, 7.d en de (x,y) -diagrammen.

We hebben dezelfde opzet als Opdracht 7.1. Alleen zijn nu de rollen van de onderzoekers omgedraaid. Onderzoeker B heeft geen snelheid ten opzichte van de spiegels, terwijl de spiegels volgens onderzoeker A wel een snelheid hebben.

Diagram 7.c is weergegeven vanuit de onderzoeker (B) die stilstaat ten opzichte van de spiegels.

1. Teken het pad van het licht voor onderzoeker B in diagram 7.c.
2. Hoe lang duurt het eenmaal op en neer kaatsen van het licht volgens onderzoeker B?
3. Teken het traject van het licht volgens onderzoeker B in de (x,y) -grafiek.

Diagram 7.d is weergegeven vanuit de onderzoeker (A) die naar bewegende spiegels kijkt.

4. Bepaal het pad van het licht voor onderzoeker A in diagram 7.d.
5. Teken het traject van het licht volgens onderzoeker A in de (x,y) -grafiek.
6. Hoe lang duurt het eenmaal op en neer kaatsen van het licht volgens onderzoeker A?



Opdracht 7.4: Reflectieopdracht 2

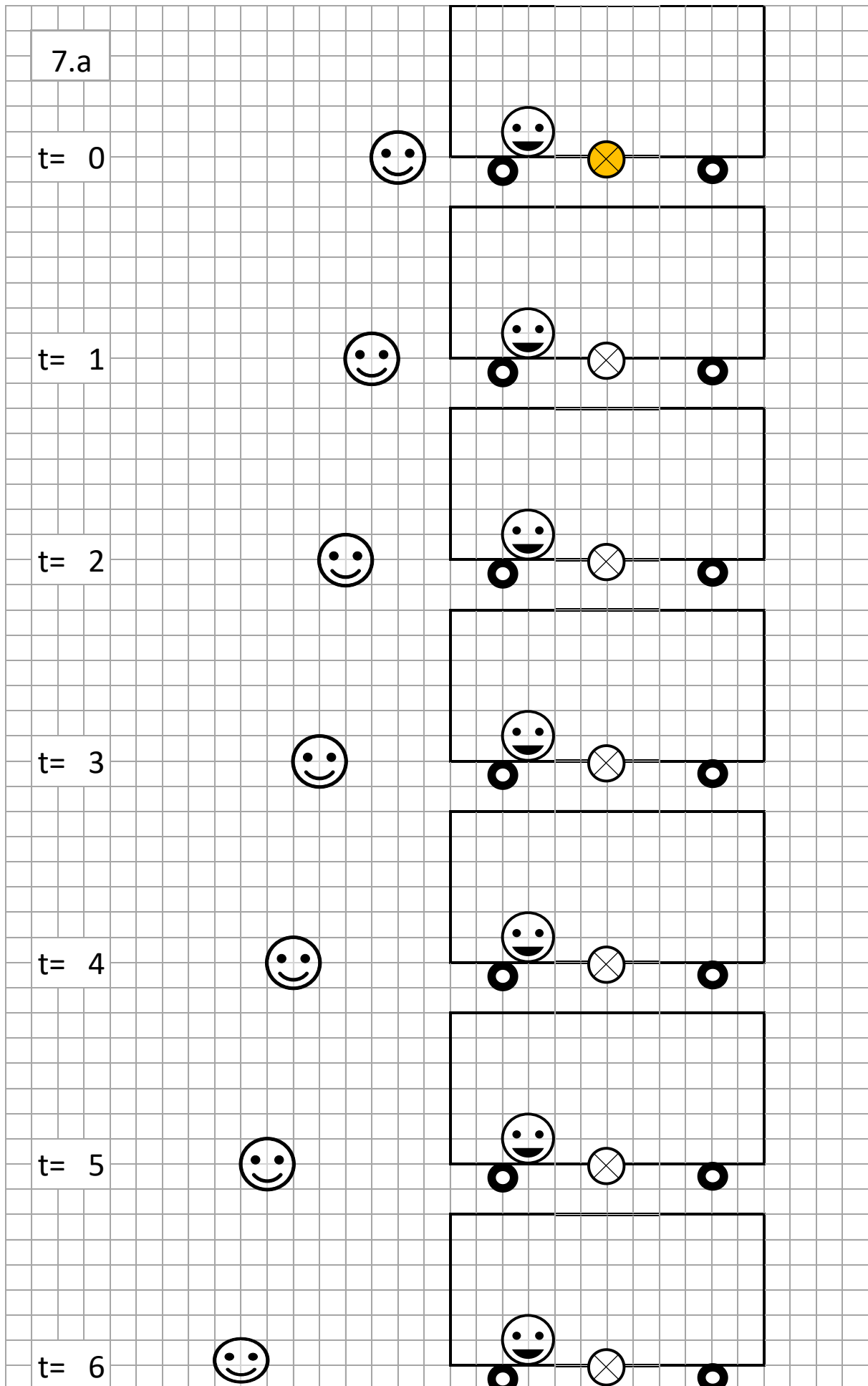
1. Hoe veranderen de verhoudingen van de tijdsduur als de relatieve snelheid tussen A en B verandert (toeneemt, afneemt)?
2. Hoe veranderen de verhoudingen van de tijdsduur als het karretje de andere kant op rijdt?

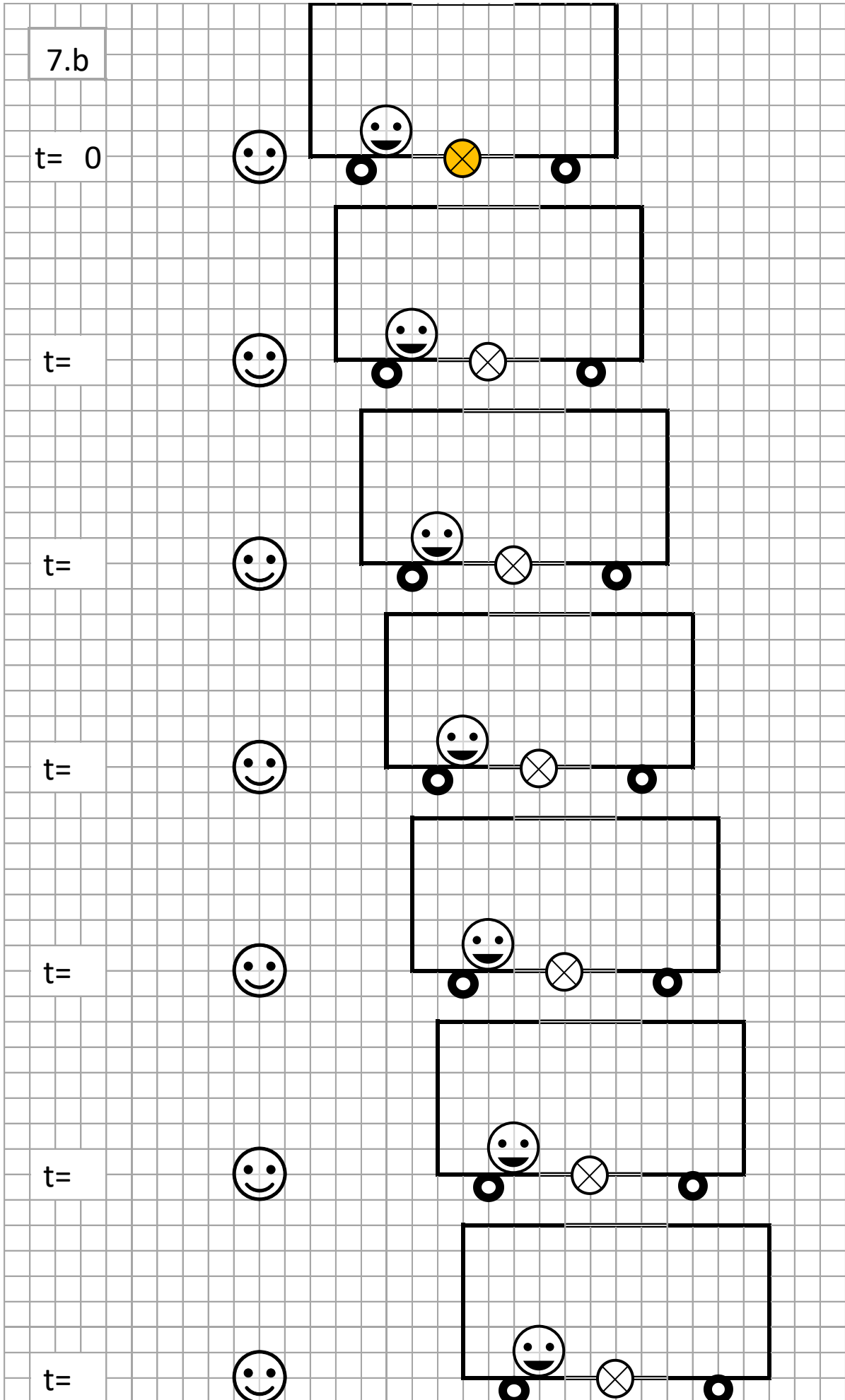
Opdracht 7.5: Samenvatting

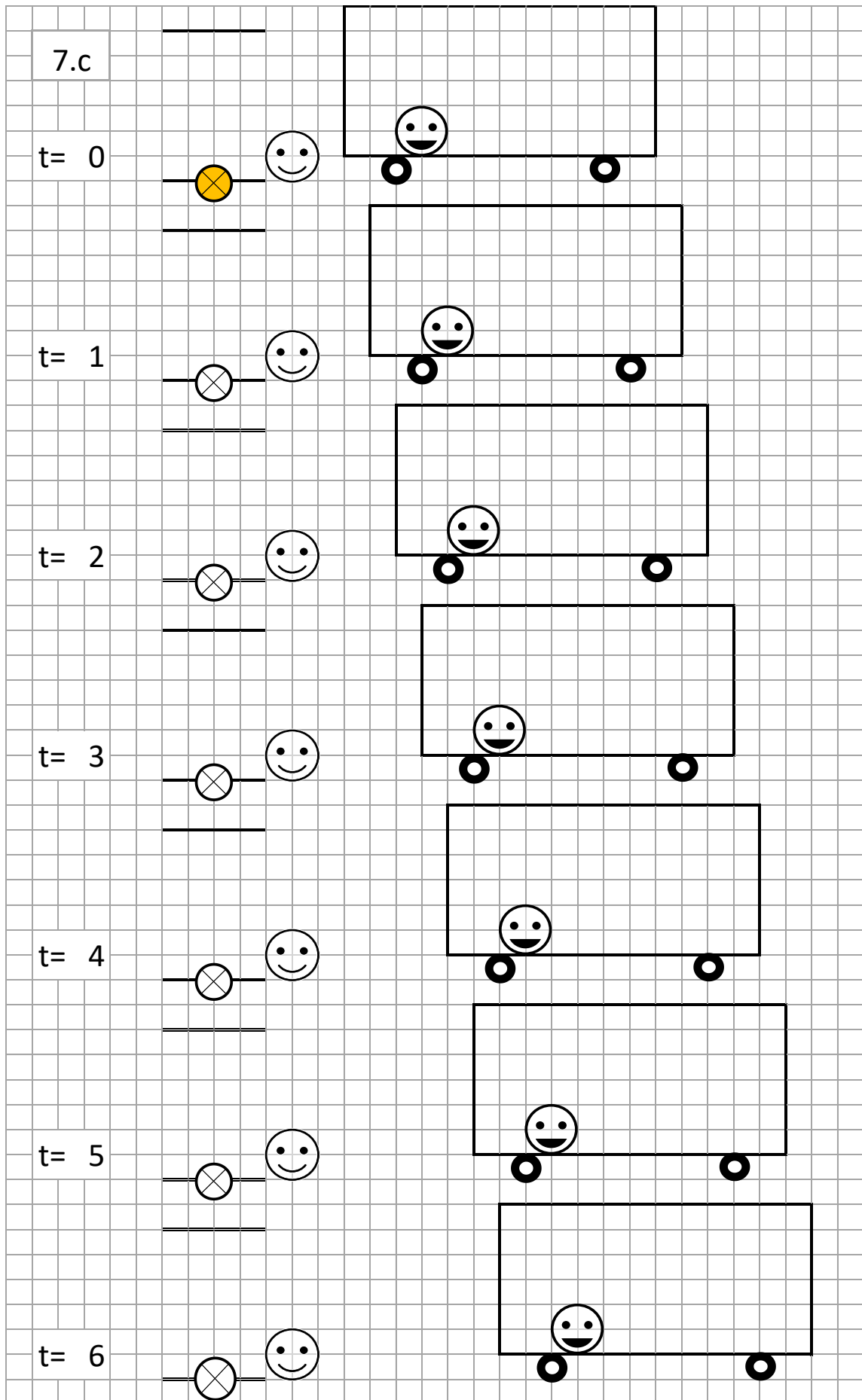
1. Wat hebben onderzoeker A in 7.a en 7.b en onderzoeker B in 7.c en 7.d met elkaar gemeen?
2. Wat hebben onderzoeker B in 7.a en 7.b en onderzoeker B in 7.c en 7.d met elkaar gemeen?
3. Hoe kunnen we in het algemeen de onderzoeker beschrijven die het kleinste tijdinterval meet?
4. Hoe kunnen we in het algemeen de onderzoeker beschrijven die een groter tijdinterval meet?
5. Hoe kun je voorspellen welke onderzoeker het kleinste tijdinterval zal meten?

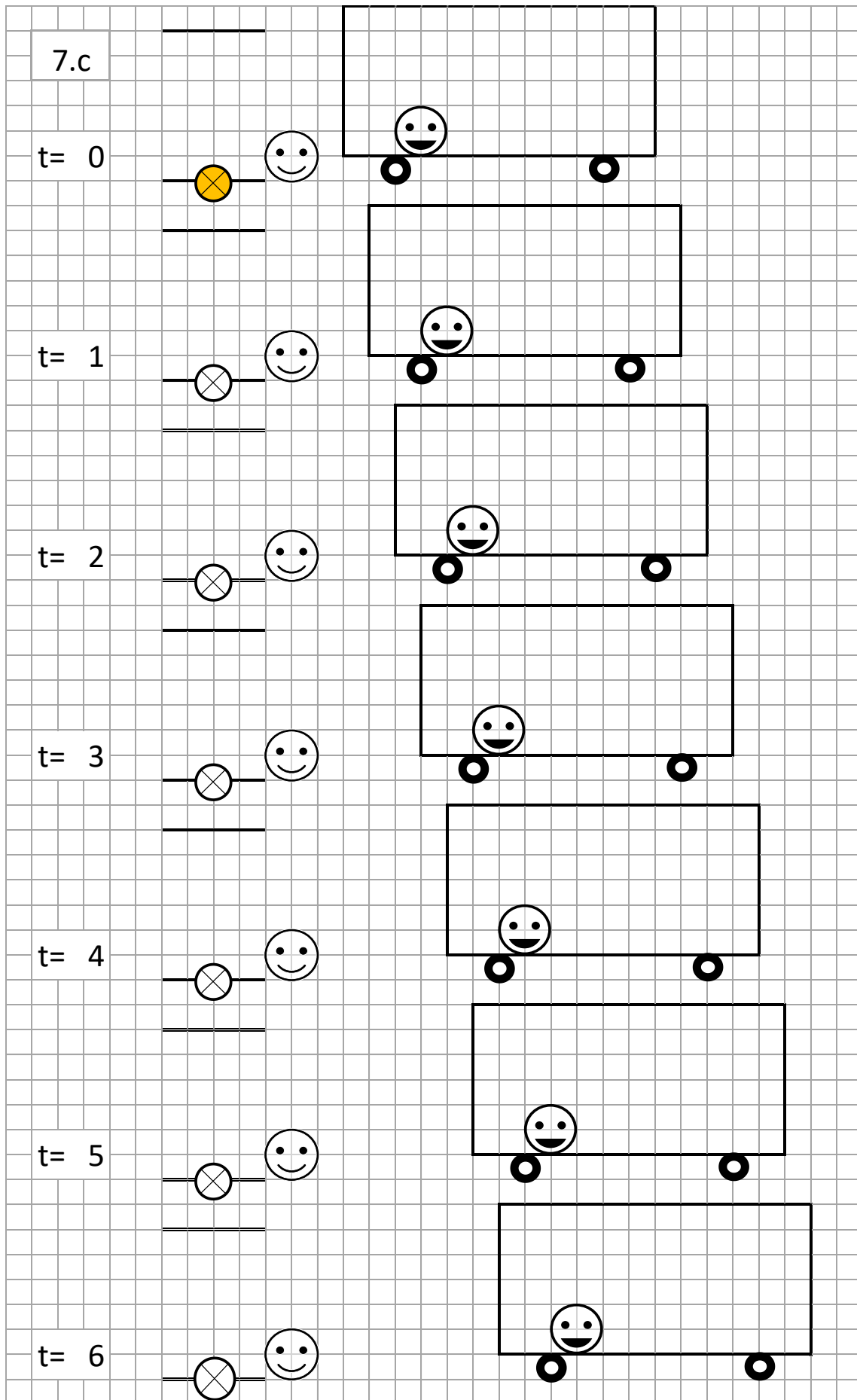
Opdracht 7.6: Beantwoorden lesvraag

1. Geef een antwoord op de lesvraag: Wat is er aan de hand met tijdsduur?



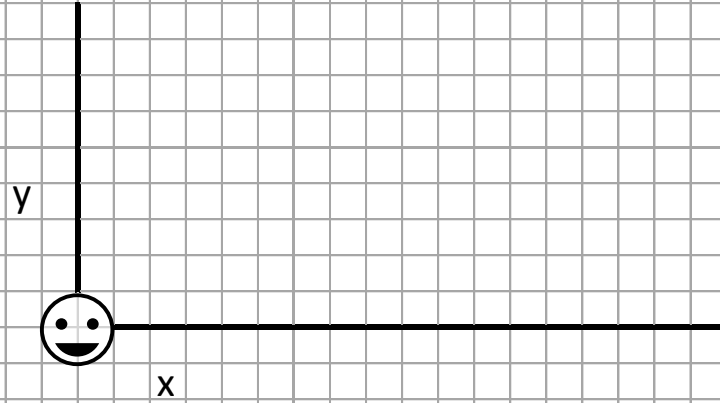




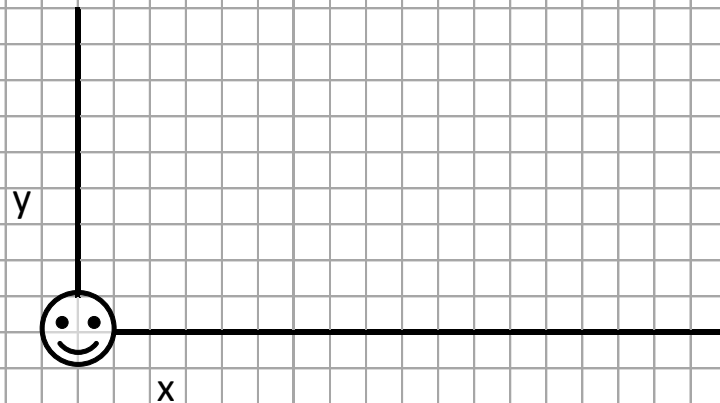


x,y-diagrammen

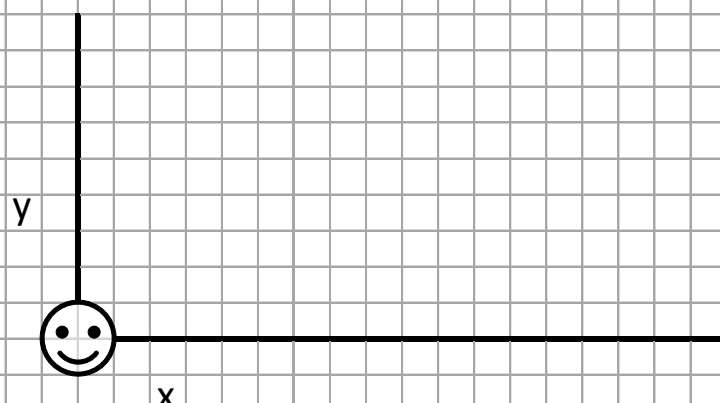
7.a



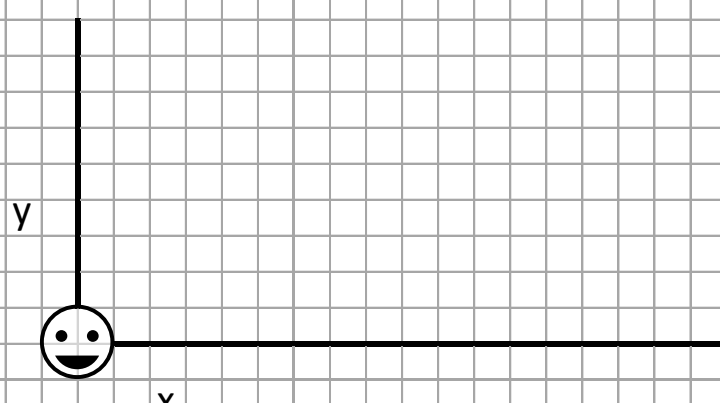
7.b



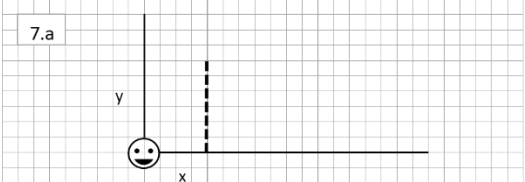
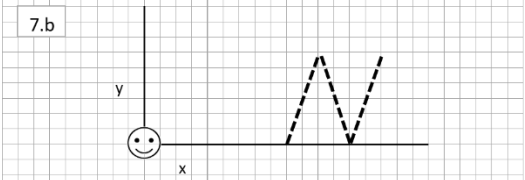
7.c



7.d



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

<p>Beginsituatie</p> <p>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.</p>	
<p>Doel</p> <p>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.</p>	
<p>Activiteiten en docenthandelen</p>	<p>Observerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)</p>
<p>Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</p> <p>De docent herhaalt de beginsituatie en scherpt de vraag die vorige les is opgeroepen verder aan: <i>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?</i> <i>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.</i></p> <p>De docent laat leerlingen opdracht 8.1 maken.</p> <div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>7.a</p>  </div> <div> <p>7.b</p>  </div> </div> <p>Docent geeft de juiste antwoorden.</p>	<p>Mogelijke uitkomsten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <ul style="list-style-type: none"> • $t_A=4$ 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: $\Delta t_b = iets * \Delta t_e$</p> <p>Leerlingen leiden vervolgens zelf de formule voor tijdrek af. (Opdracht 8.2)</p> <p>De docent geeft het eindresultaat van de afleiding. (https://www.youtube.com/watch?v=HXaIMYUeaPA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Leerlingen hebben mogelijk moeite met het netjes uitwerken van de afleiding; <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 $c=s/t$, t niet meer gelijk, dan moet er ook iets met afstand aan de hand zijn.)</p>
<p>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</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"> • Voldoet de gevonden formule aan deze voorwaarden? • Wat betekent dit voor de tijdsduur van een proces? 	<p><i>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</i></p>
<p>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</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><i>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</i></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...

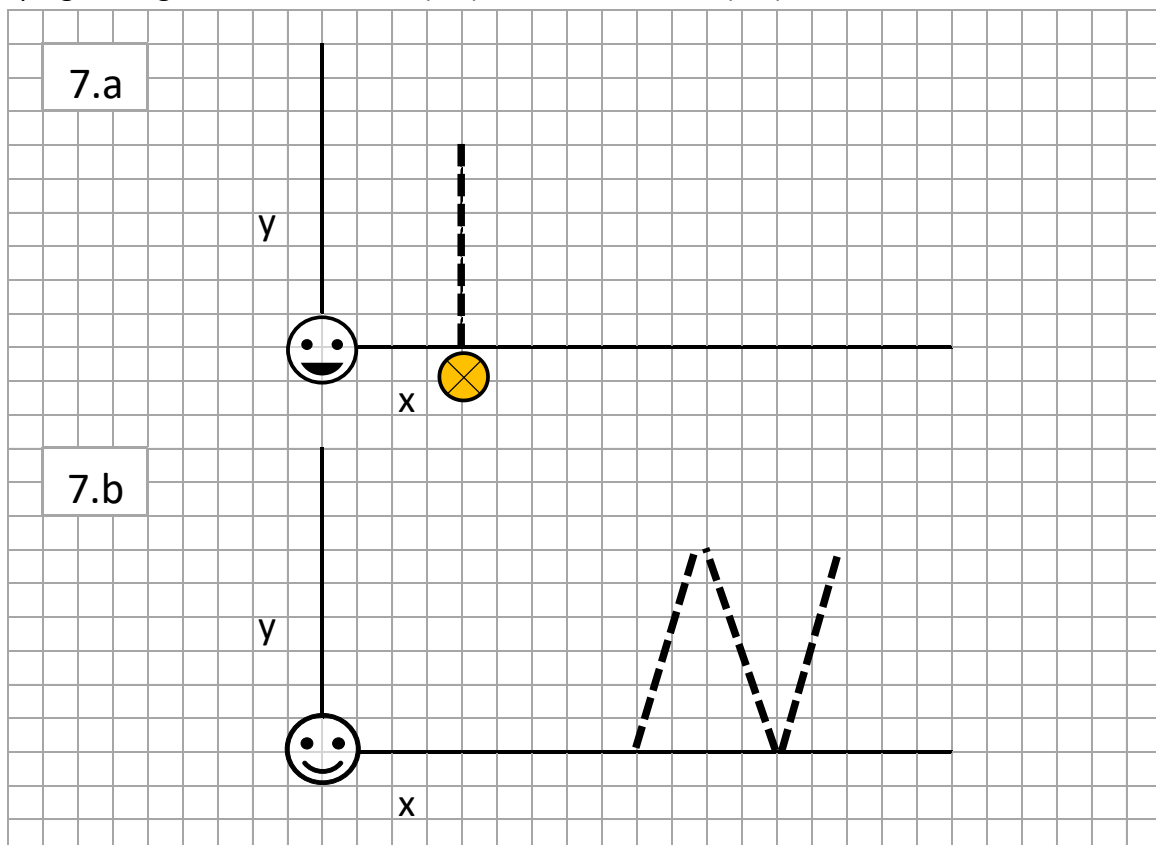
Leerlingenboekje ‘8. Met welke formule kunnen we de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 1 uitdrukken in de tijdsduur ten opzichte van onderzoeker 2?’

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

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

Δt_b is het tijdsinterval tussen (dezelfde) twee gebeurtenissen die ten opzichte van de onderzoeker niet dezelfde positie hebben.

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

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 $2,10 \mu s$. 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?

Beginsituatie Leerlingen zijn bekend met het lichtpostulaat en tijdrek.	
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.	
Activiteiten en docenthandelen	Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)
Fase 1 A: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden 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)	Mogelijke uitkomsten
Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent) 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)	Mogelijke denkbeelden van leerlingen

**Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)**

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)

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)

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)

De docent introduceert nieuwe informatie: We krijgen een boodschap van aarde binnen: "we hebben twee ruimteschepen in beeld met onze supertelecoop, maar zijn jullie het stilstaande of het bewegende ruimteschip?" Daarna valt de verbinding helaas onherstelbaar uit.

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)

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)

Mogelijke knelpunten bij leerlingen



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?