

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.

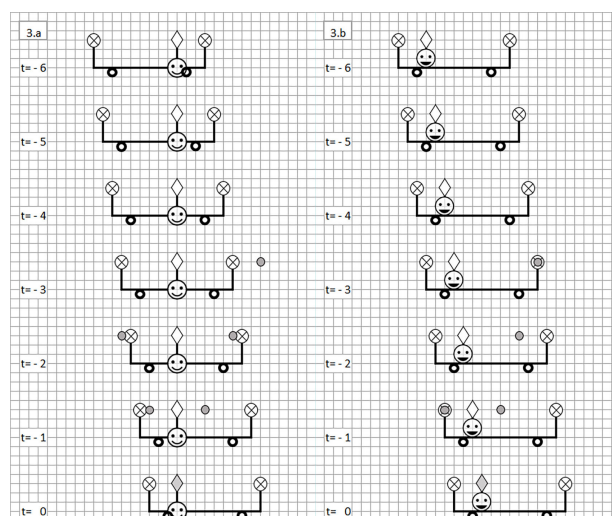
Activiteiten en docenthandelen

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

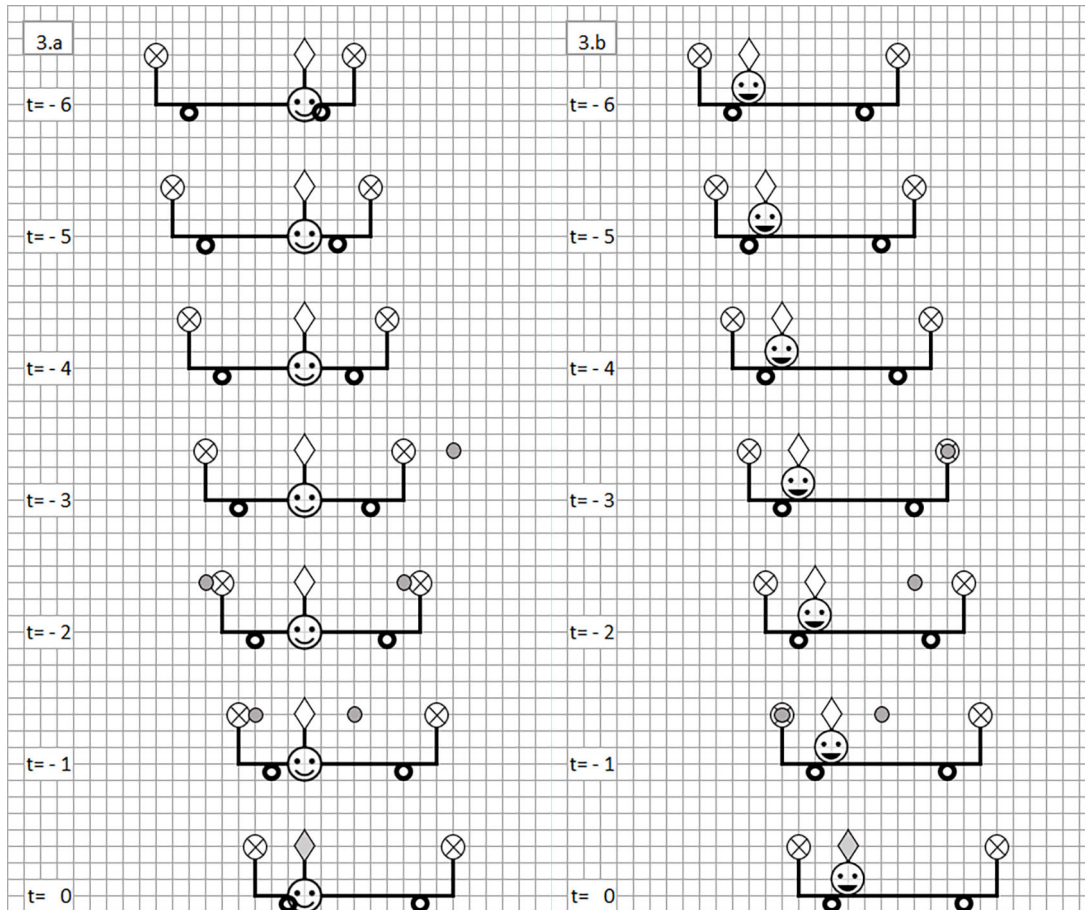
Vat de opbrengst van de afgelopen lessen in onderstaand schema samen.

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.

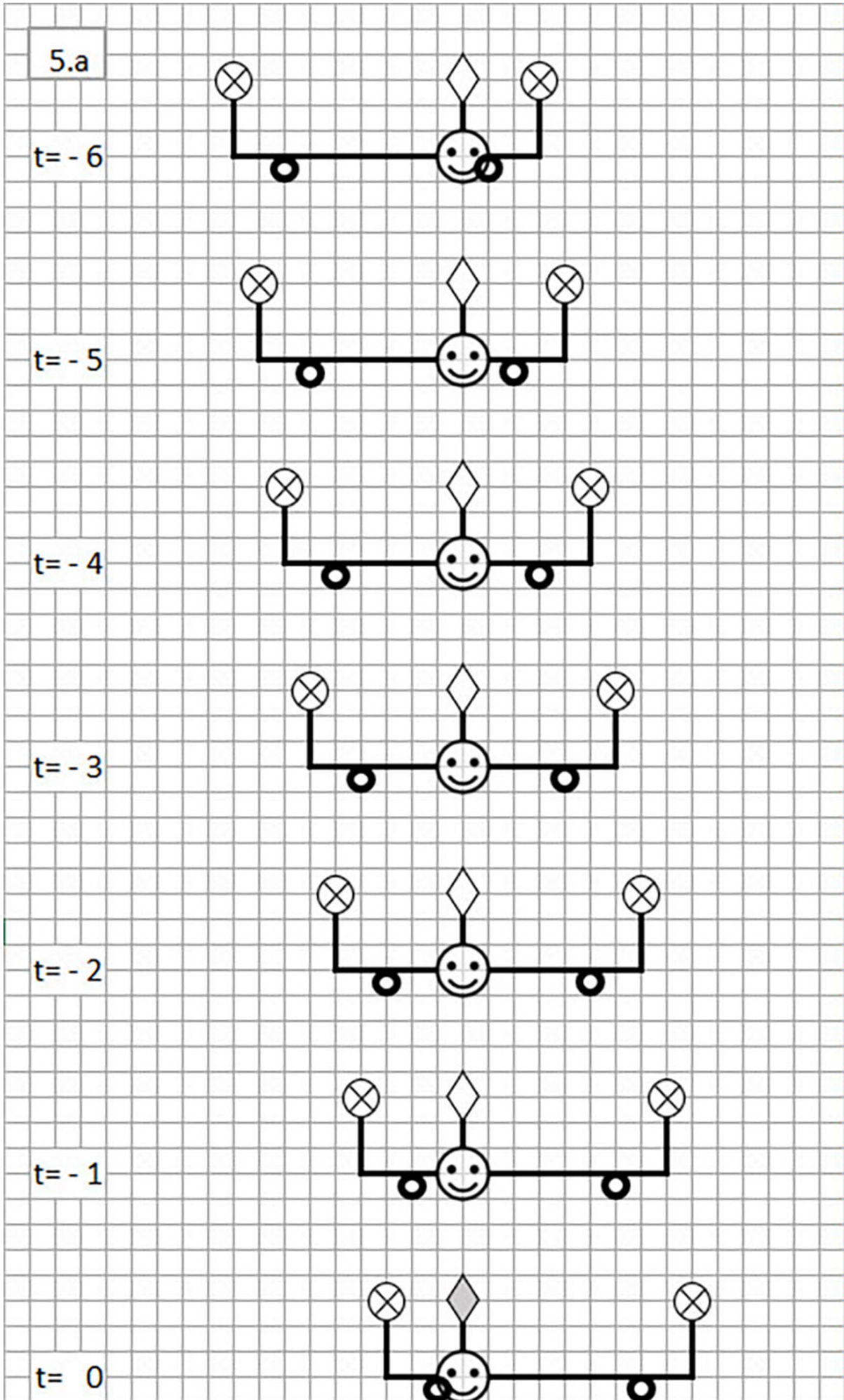
Opdracht 5.4: Verwerkingsopdracht

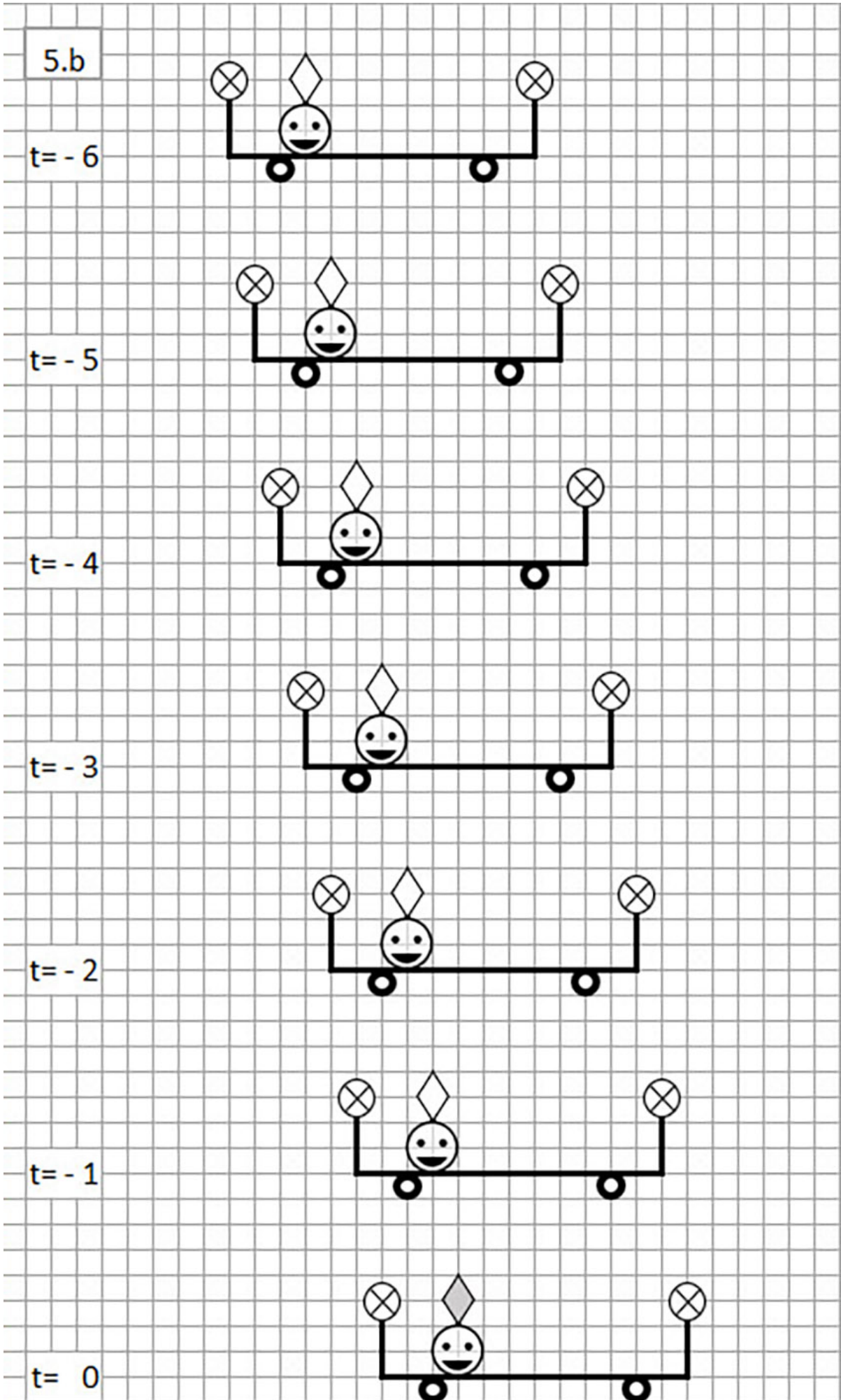
Gebruik voor deze opdracht diagrammen 5.e, 5.f, 5.g, 5.h.

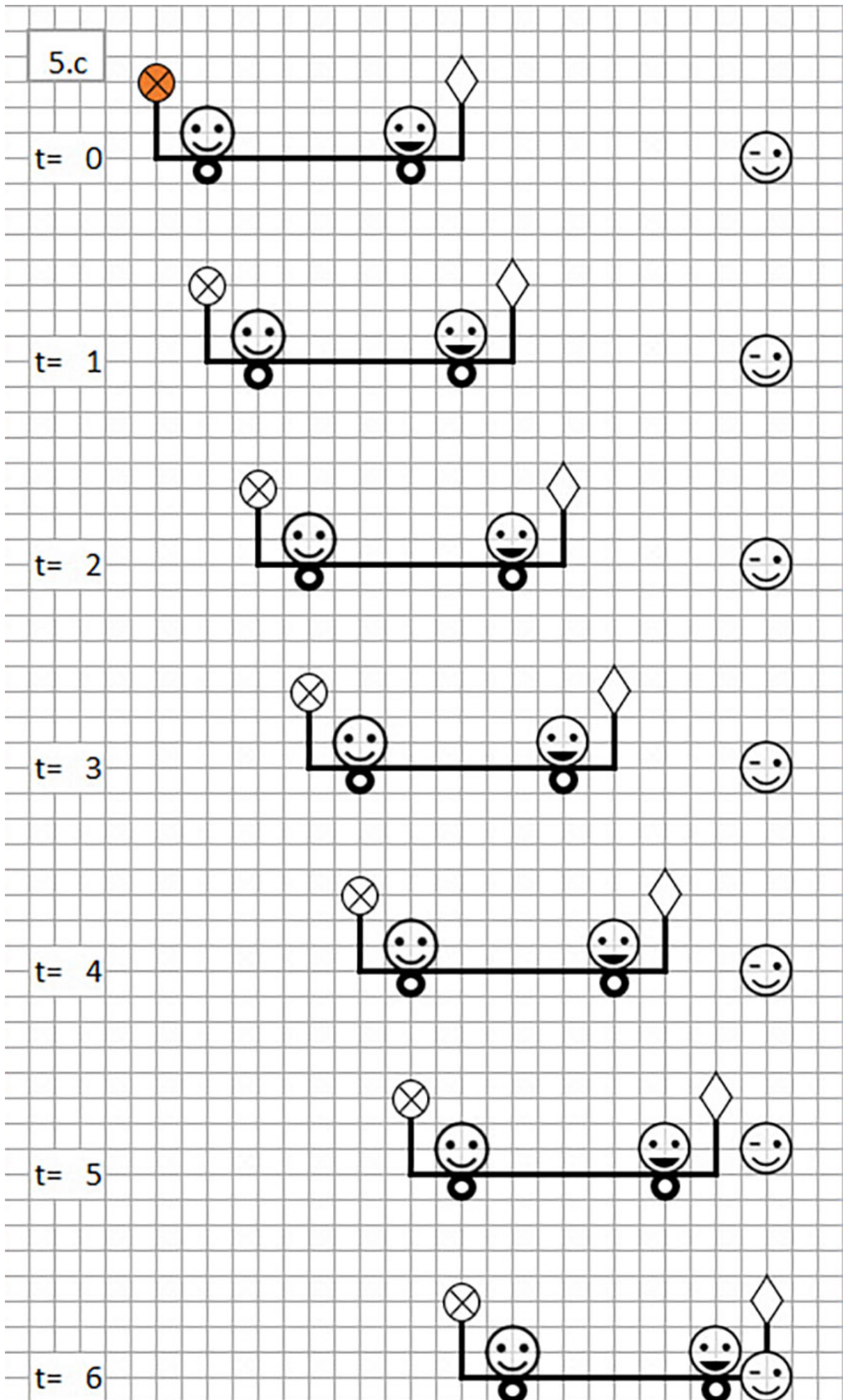
Teken het voortbewegen van licht in deze diagrammen voor de verschillende onderzoekers die staan weergegeven.

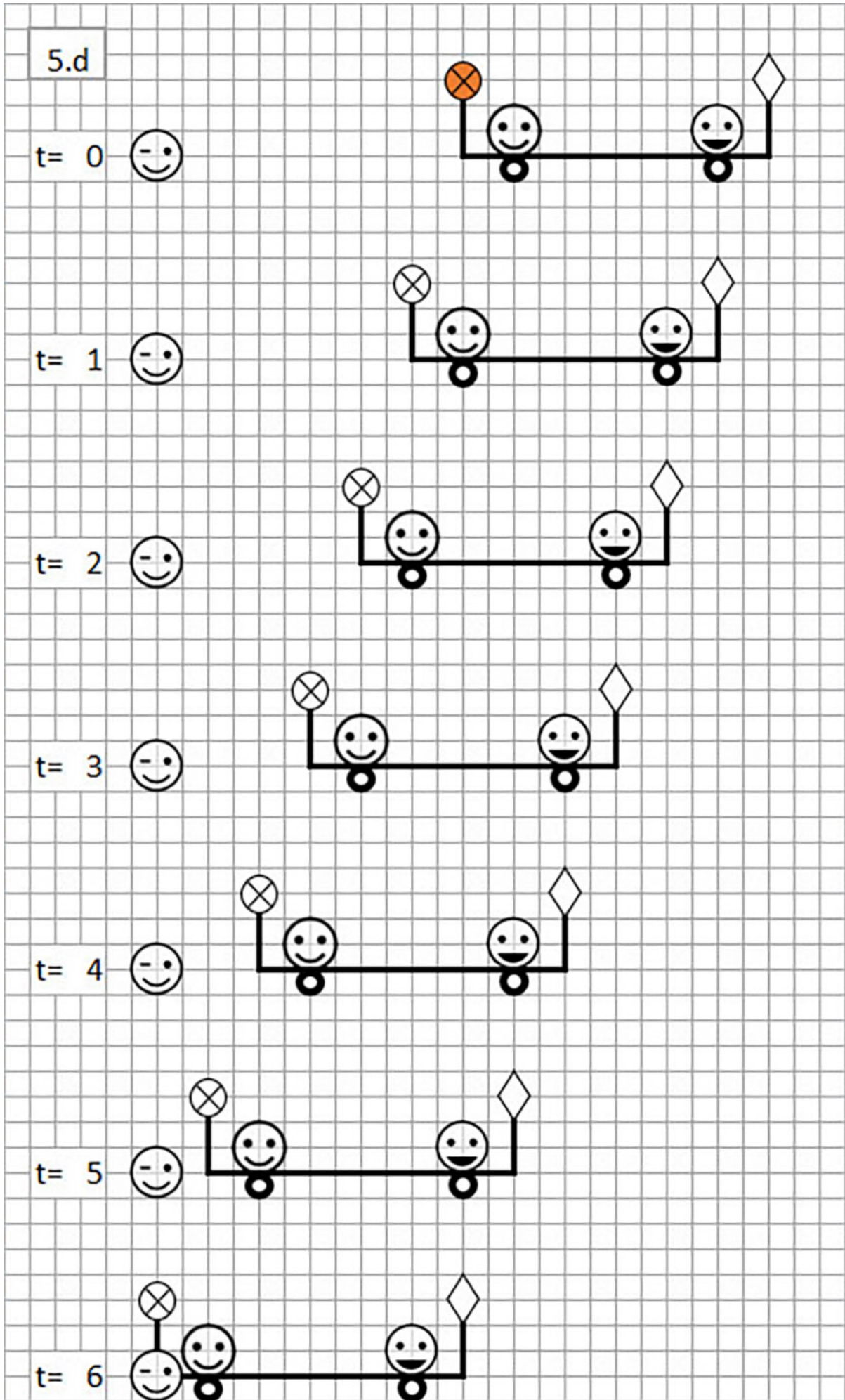
Opdracht 5.5: Beantwoorden lesvraag

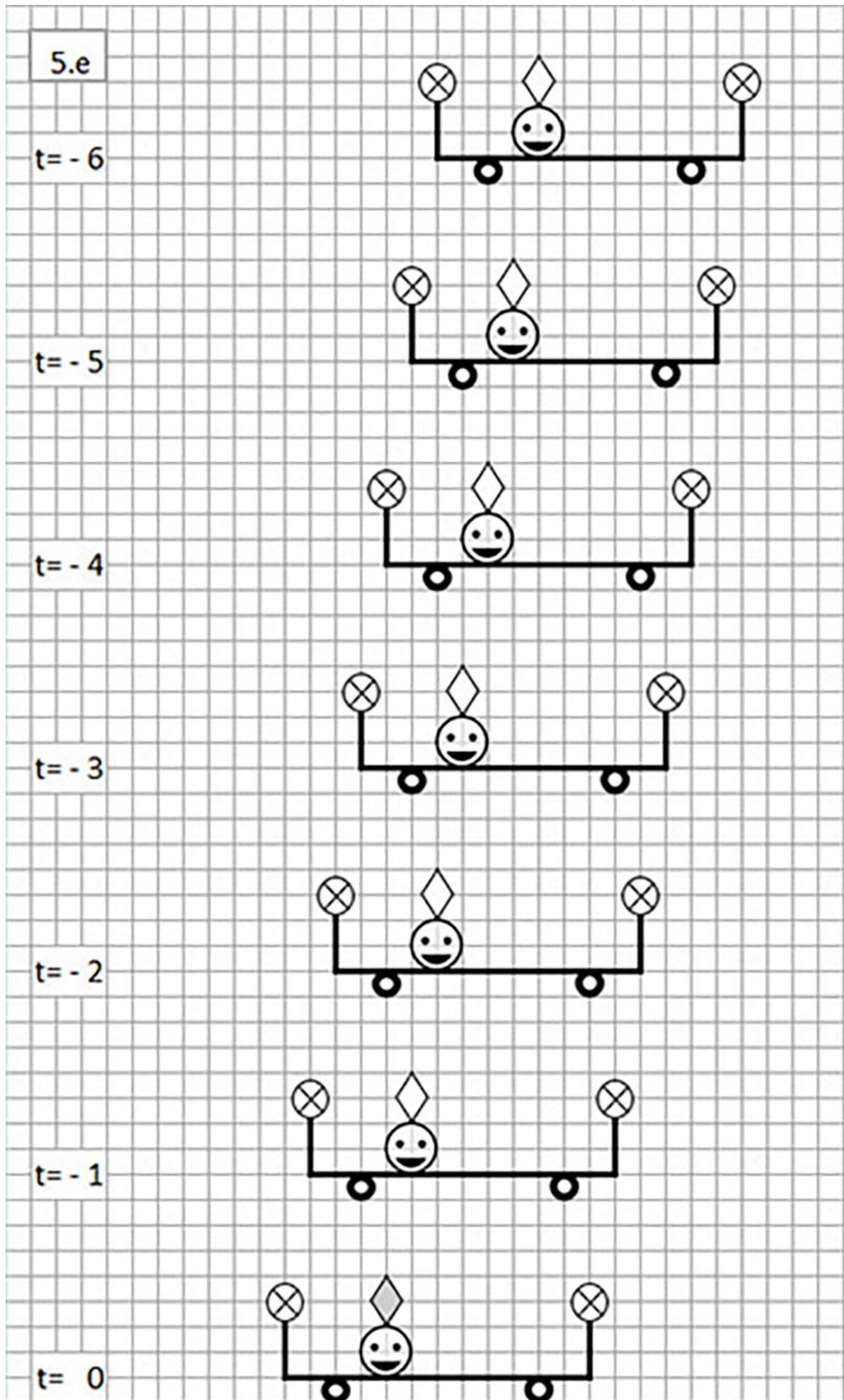
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?

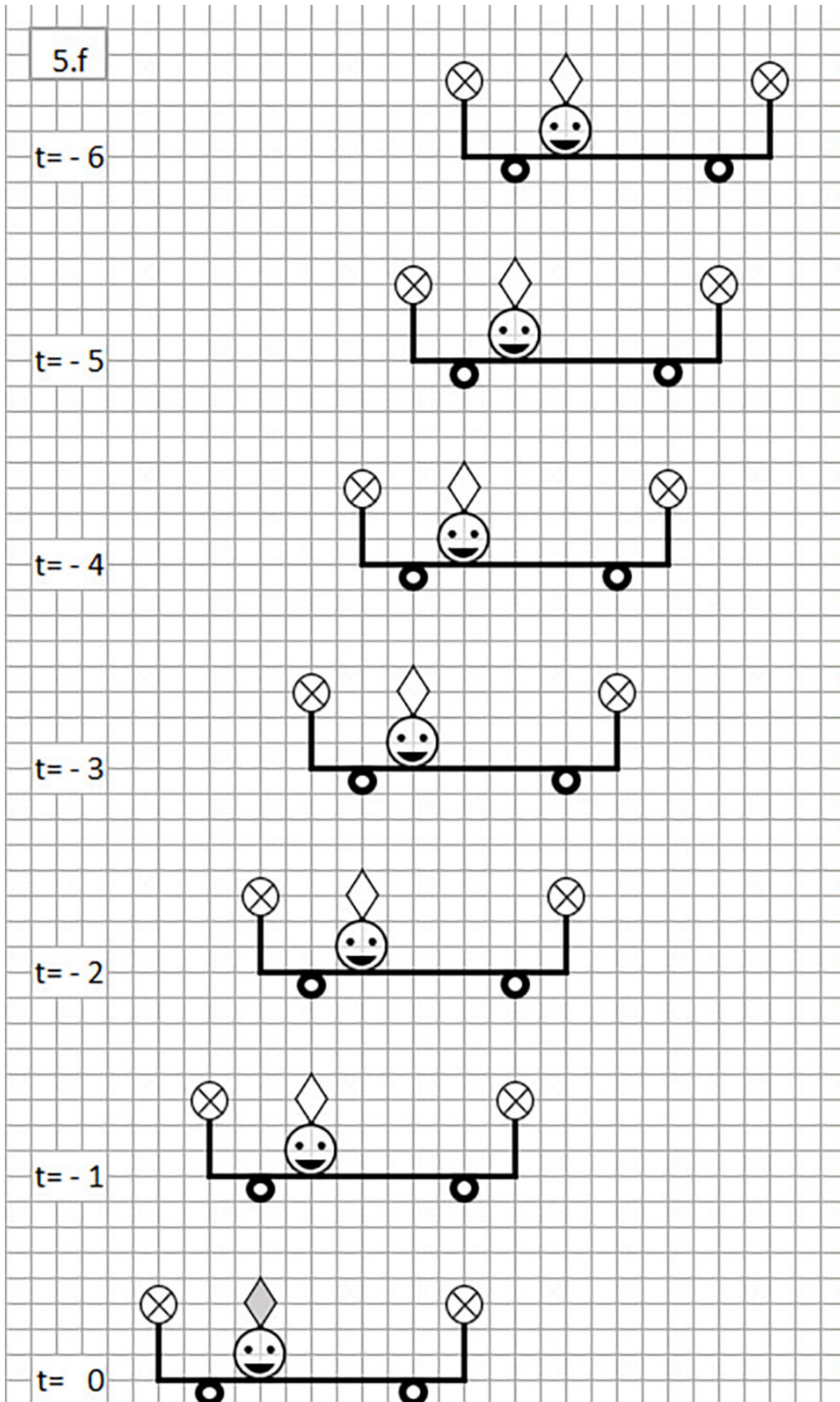


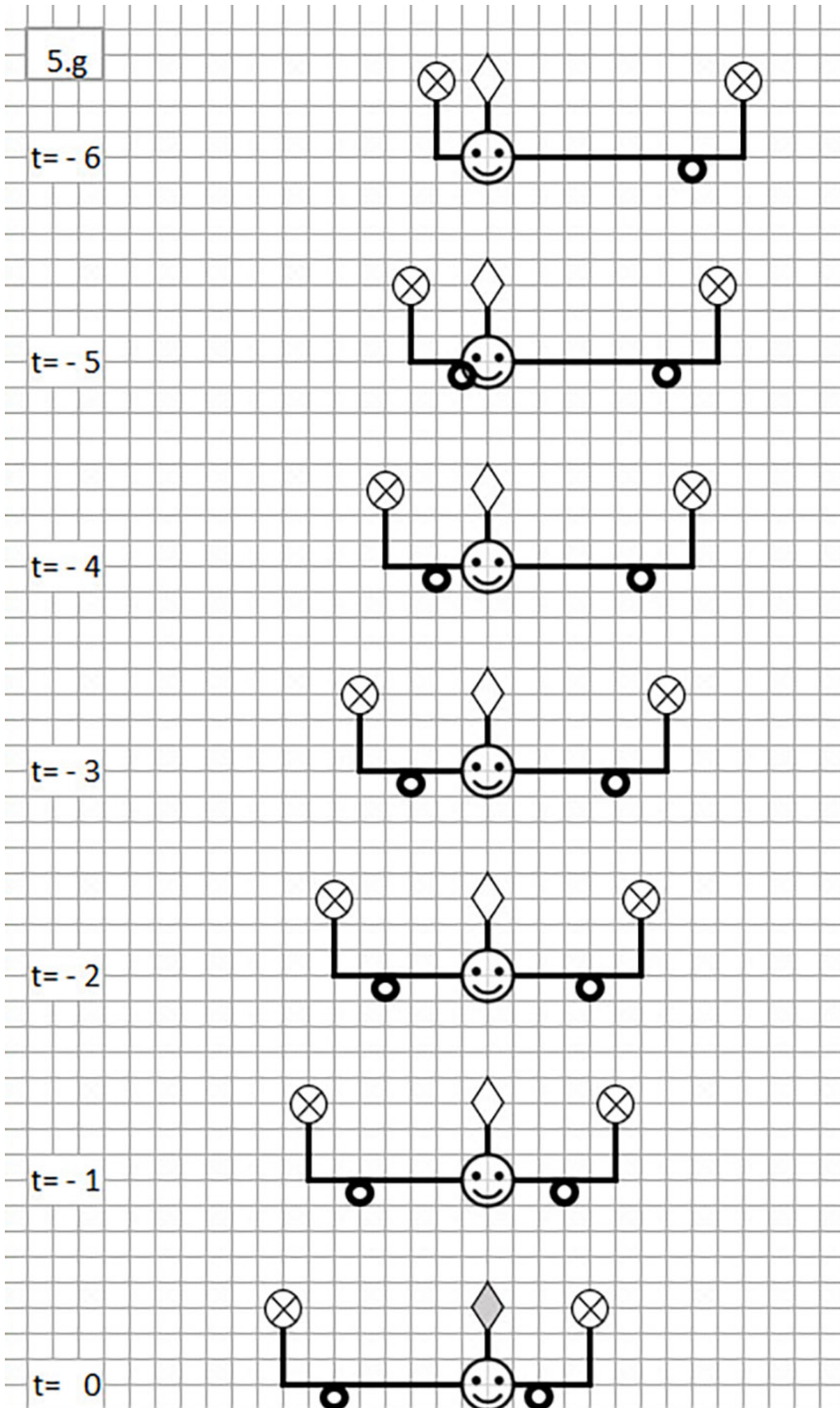


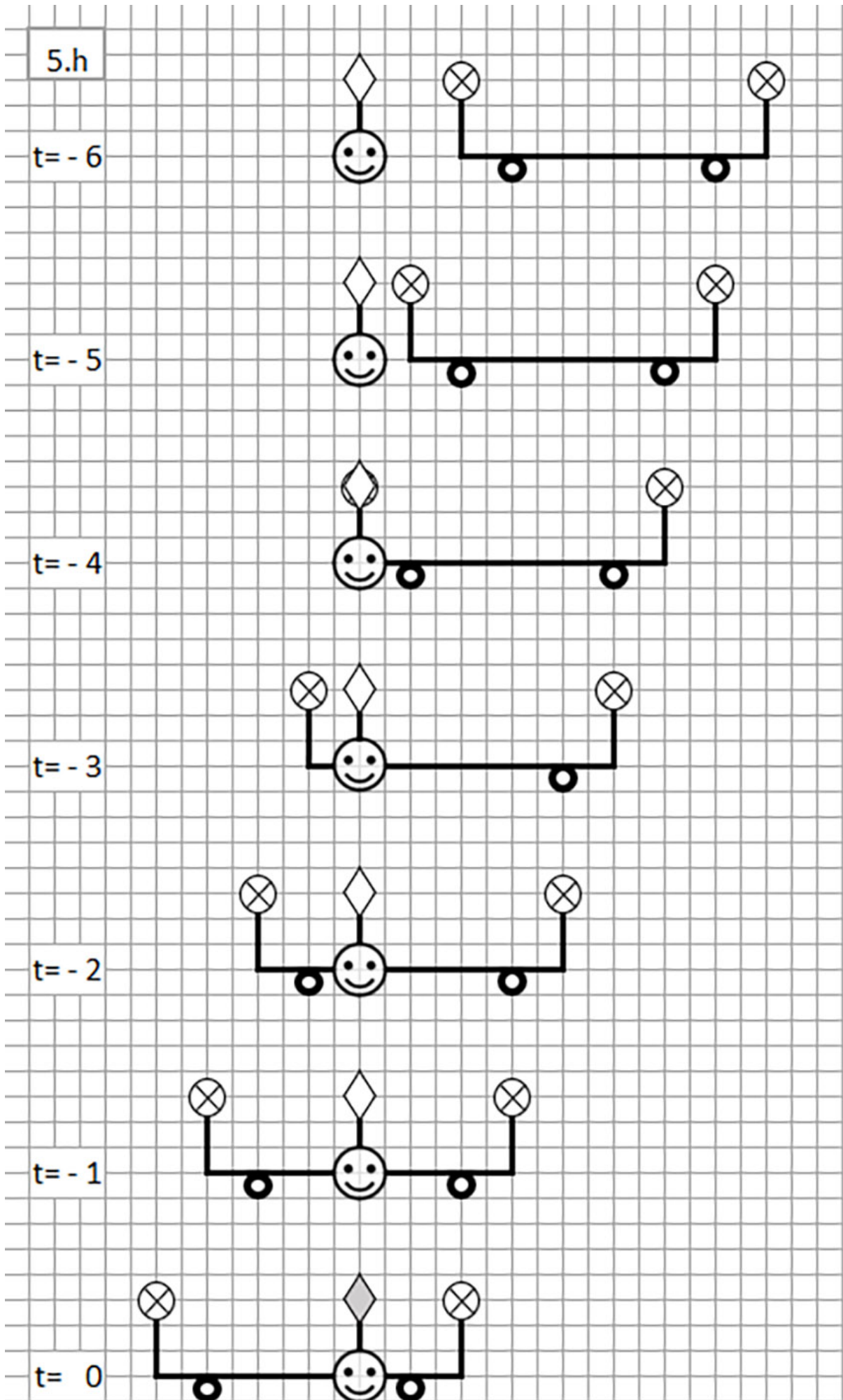












6. Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?

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

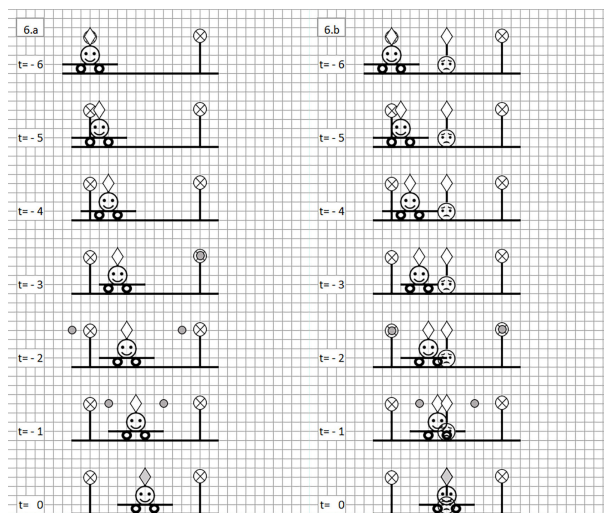
In deze les gaan we op zoek naar het antwoord op de lesvraag 'Wat zijn de gevolgen van het lichtpostulaat voor plaats en tijd?'. Aan het eind van deze les kan je het lichtpostulaat in nieuwe contexten toepassen en kan je de gevolgen van dit voortbewegingsmodel voor het type voorspelling dat je daarmee 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 opdracht 6.1 maken.



De docent laat leerlingen in 2-tallen hun antwoorden van 6.1 uitwisselen.

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

Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)

Mogelijke uitkomsten

Correcte antwoord:

6.1a:
links tussen $t=-1$, $x=-3$, en $t=-2$, $x=-6$
rechts $t=-3$, $x=9$

6.1b:
links $t=-2$, $x=-6$,
rechts $t=-2$, $x=6$

Mogelijke incorrecte antwoorden:

6.1a: 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 houdt 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: <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 gekst 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?

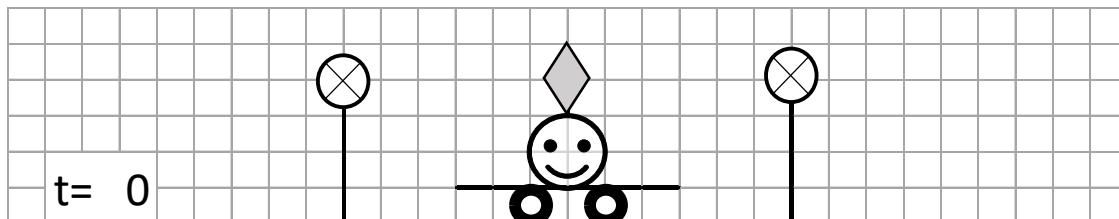
Doel

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?

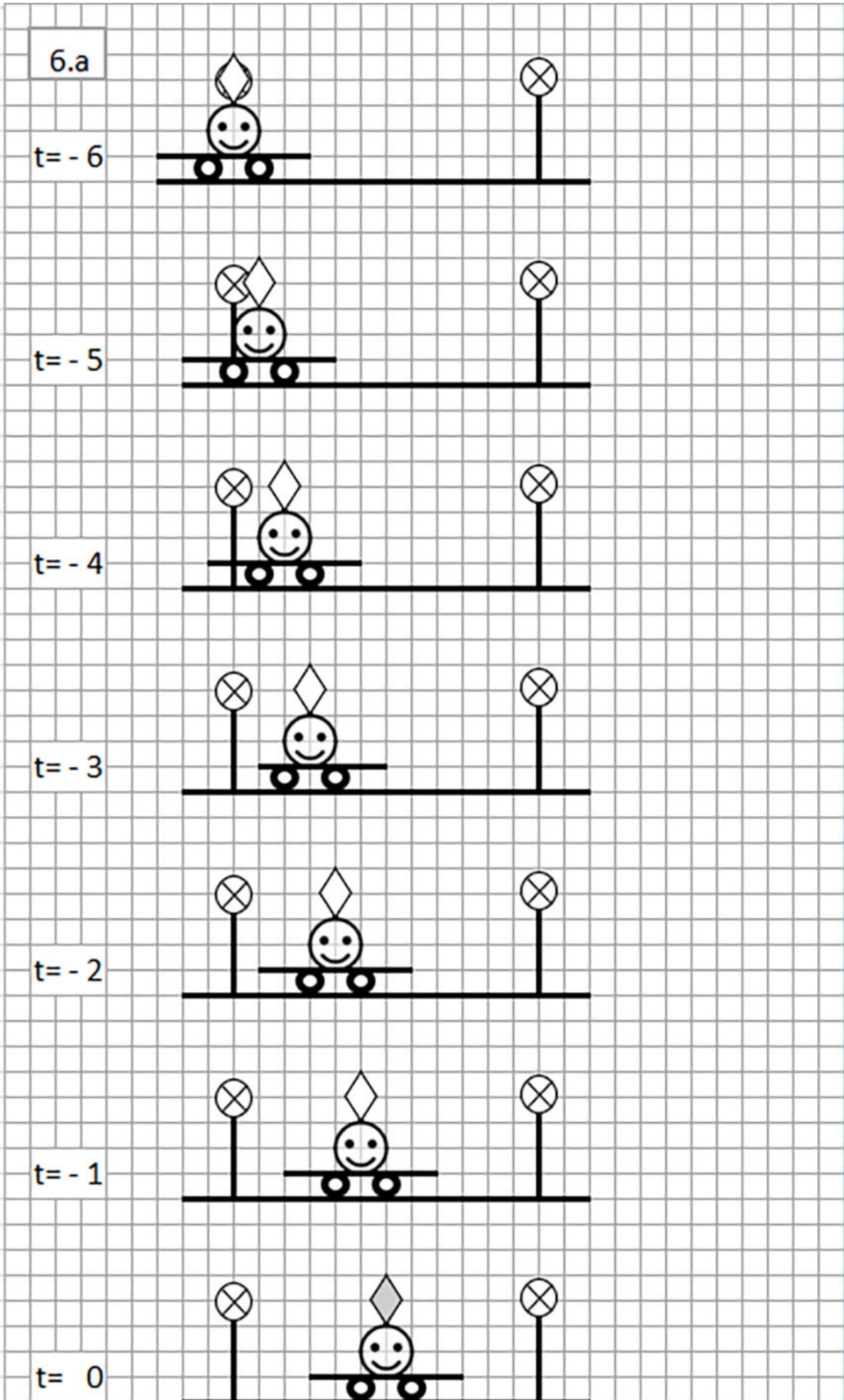
Opdracht 6.3: Verwerkingsopdracht

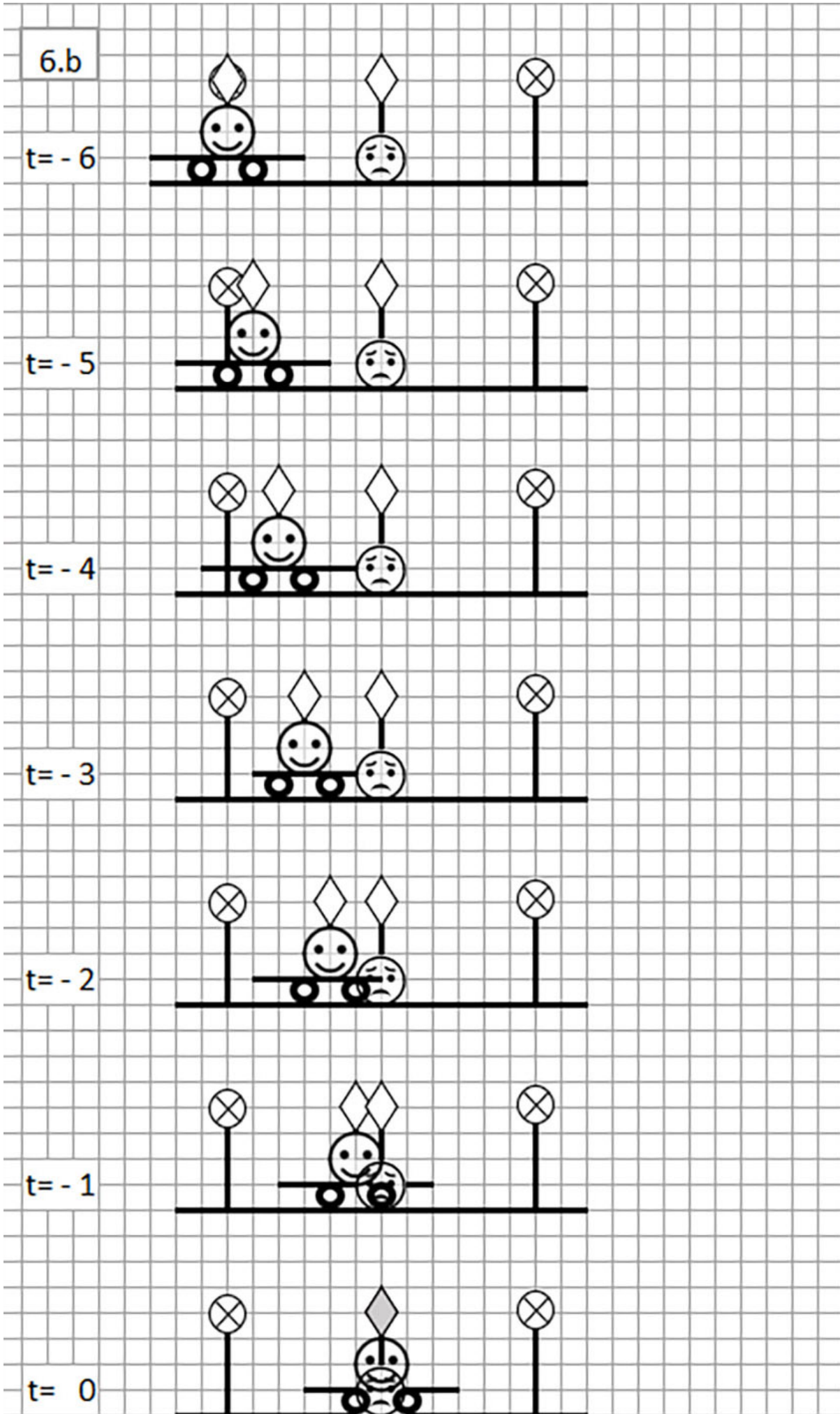
Gebruik bij deze opdracht diagram 6.c t/m 6.g

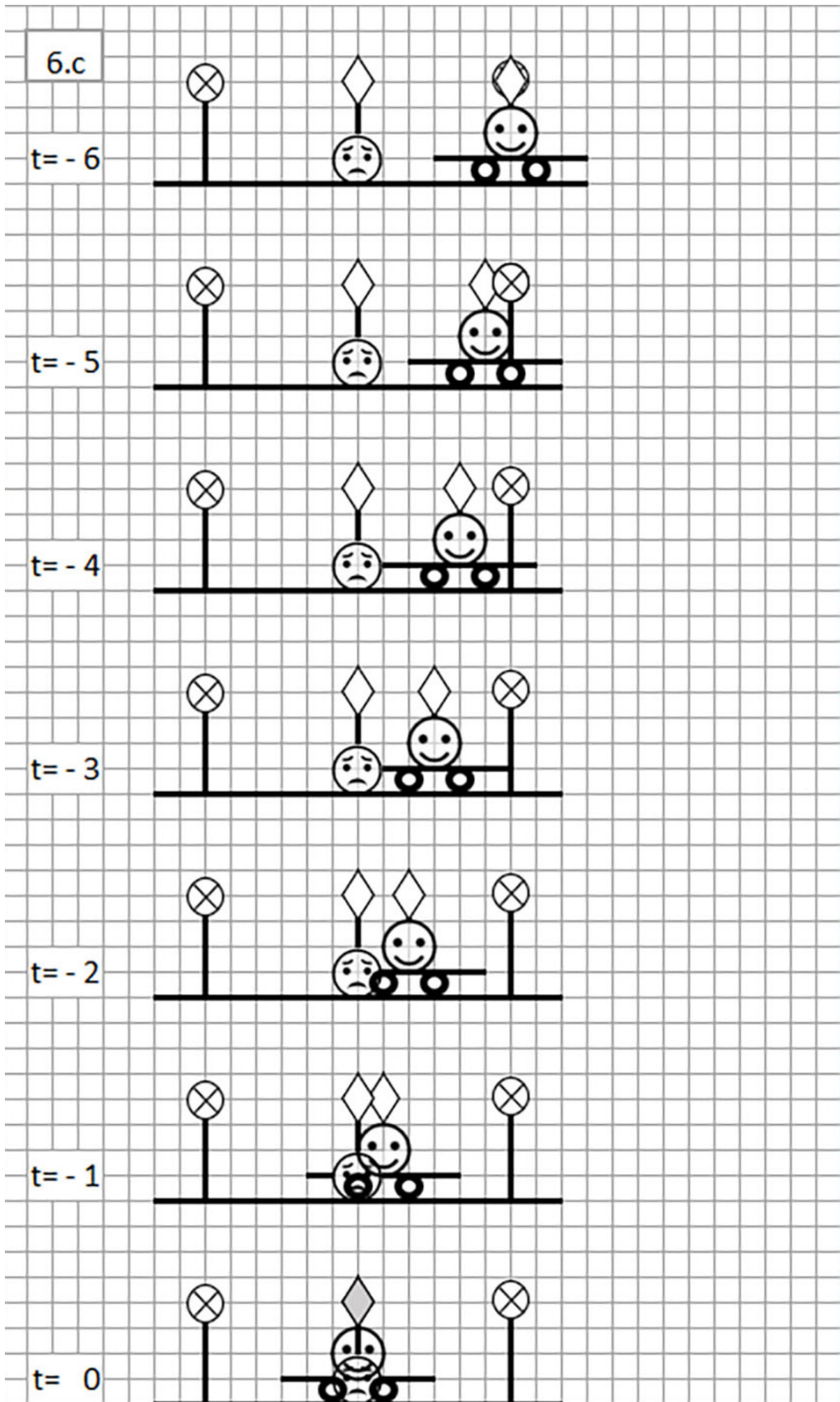
Extra oefening met lichtpostulaat. De laatste tijdstap $t=0$ geeft aan dat twee lichtsignalen bij de sensor van de onderzoeker zijn aangekomen. Bepaal door in de diagram te tekenen op welke plaats en tijdstip de lampen zijn aangegaan volgens deze onderzoeker. Herhaal deze opdracht voor de andere onderzoeker.

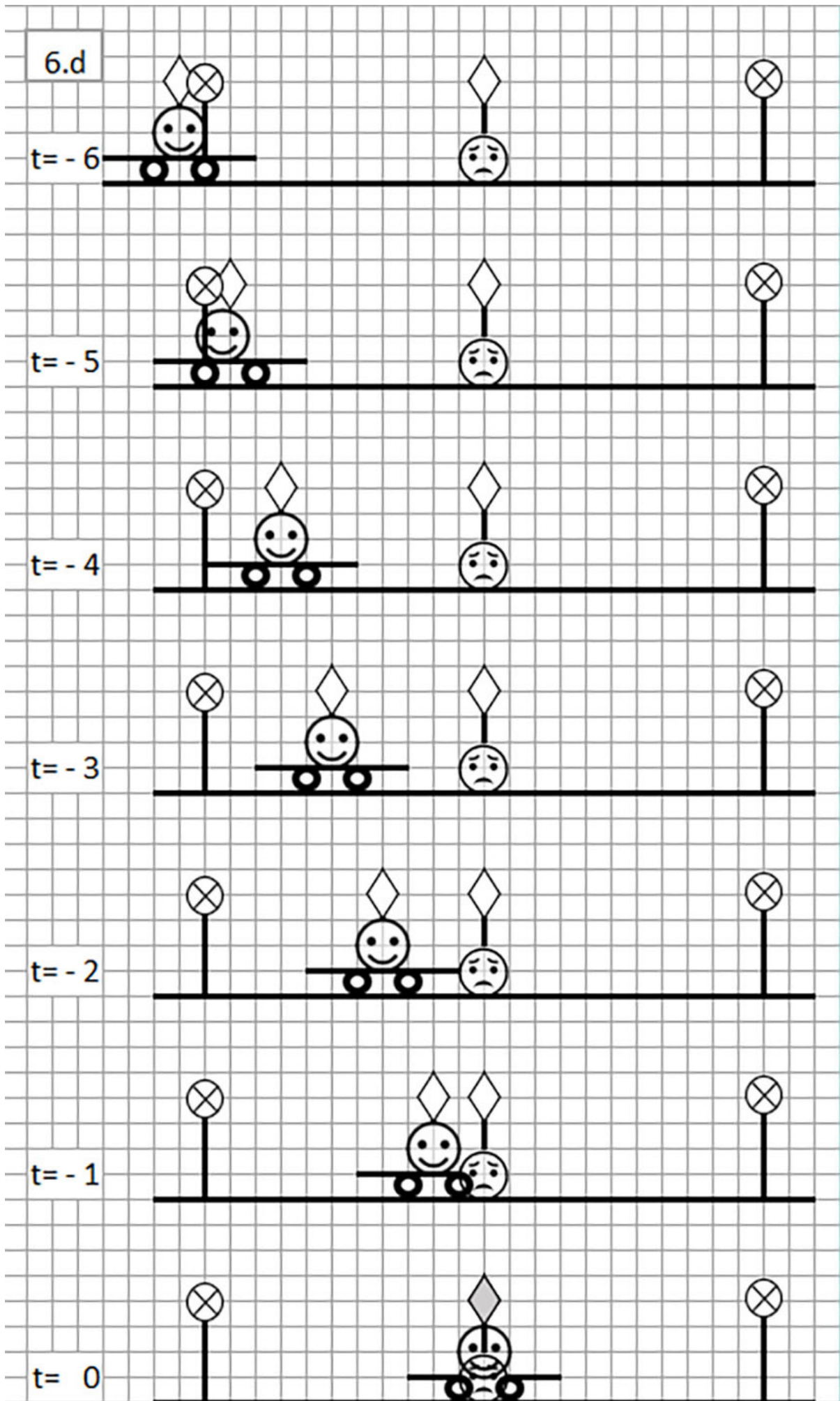
Opdracht 6.4: Beantwoorden lesvraag

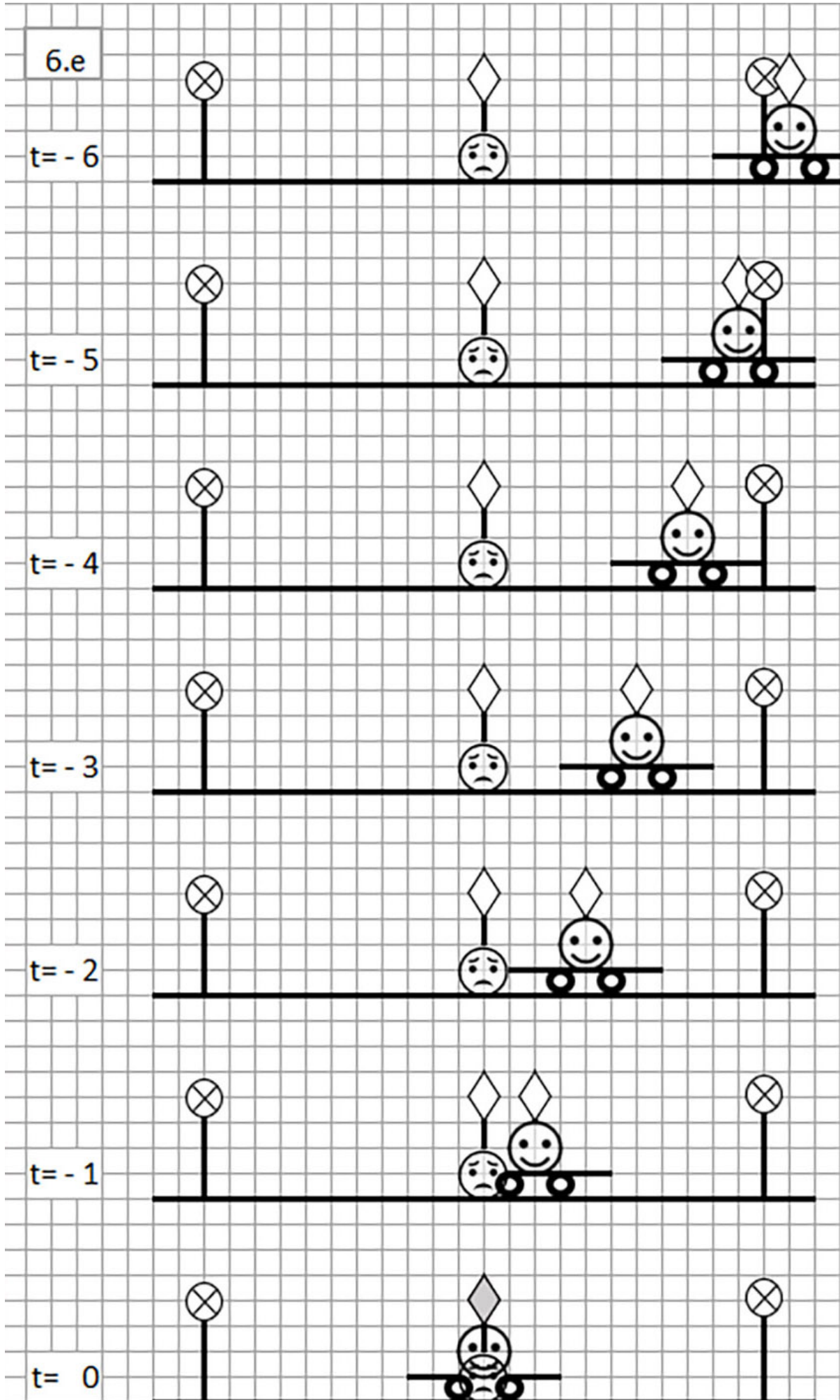
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Wat zijn de gevolgen voor plaats en tijd van het lichtpostulaat?

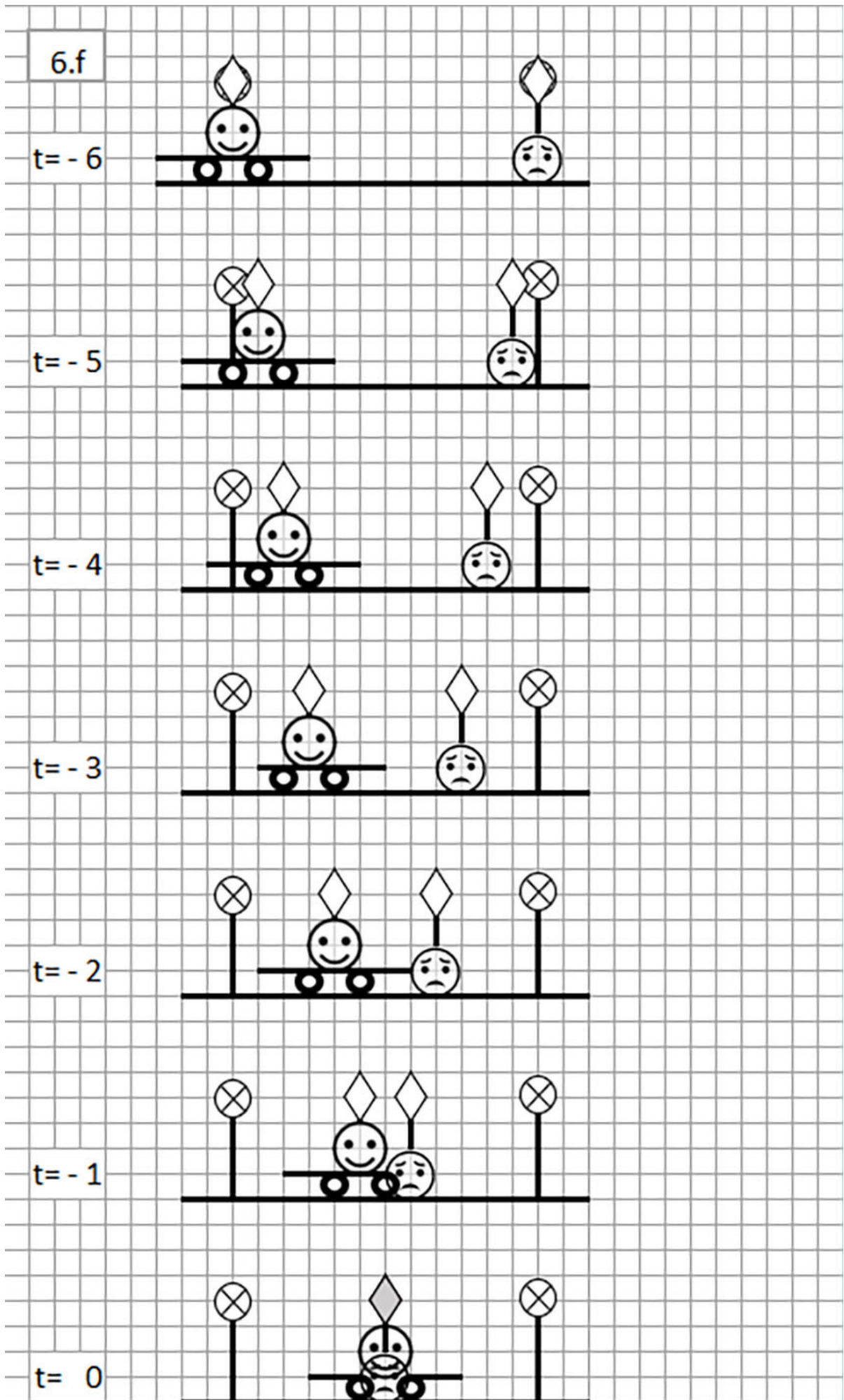


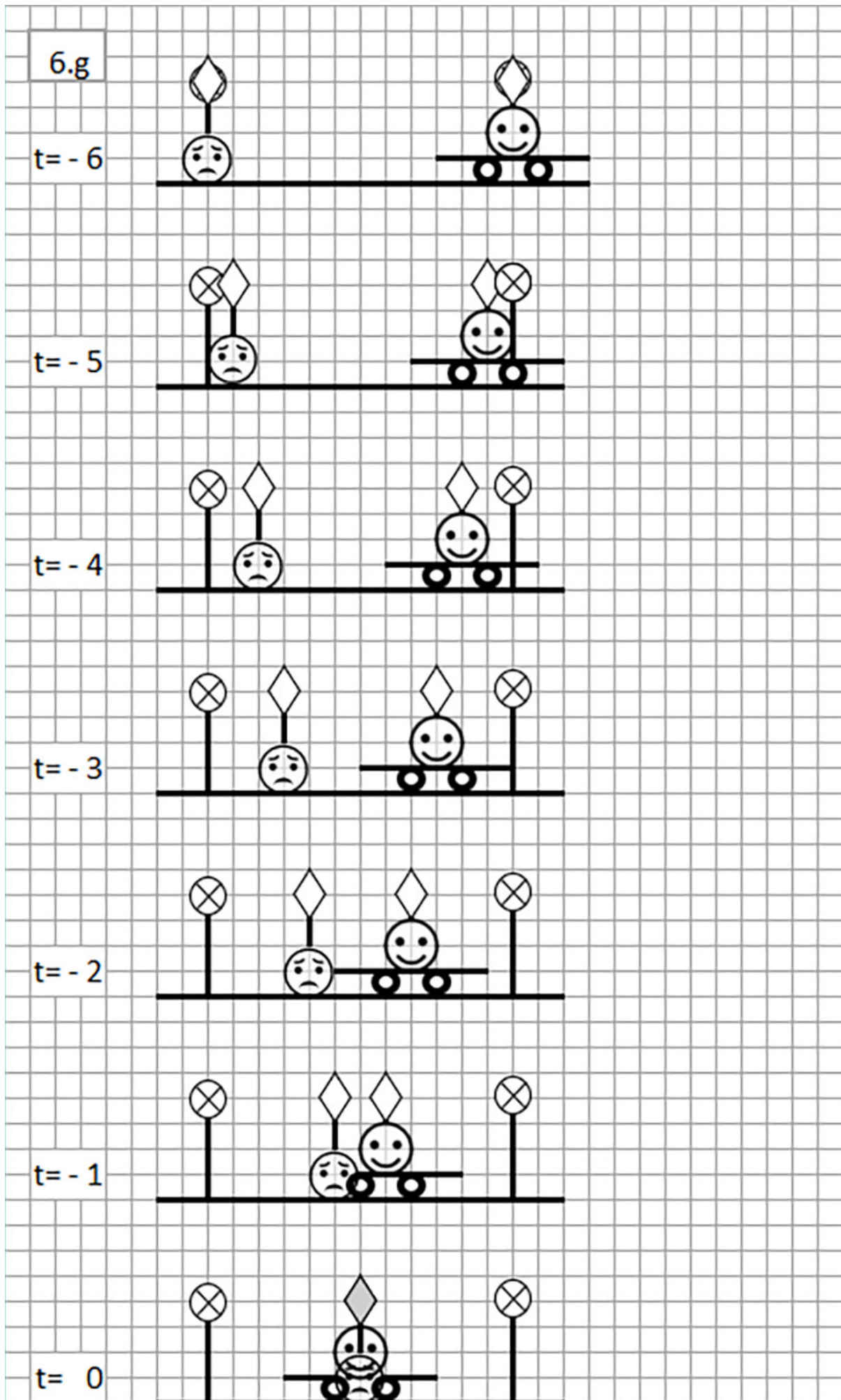














7. Wat is er aan de hand met tijdsduur?

<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.

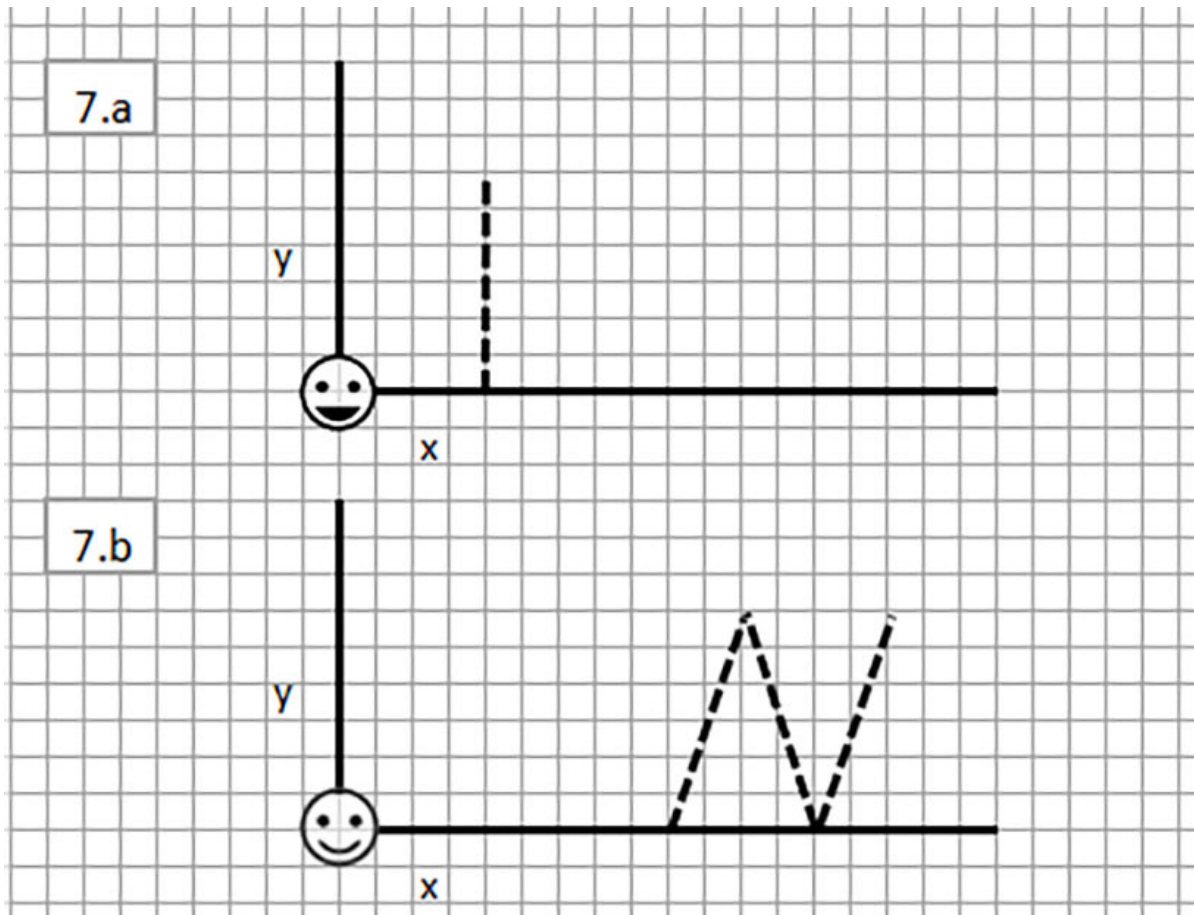
Diagram 7.b is weergegeven vanuit de onderzoeker (B) die naar bewegende spiegels kijkt.

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

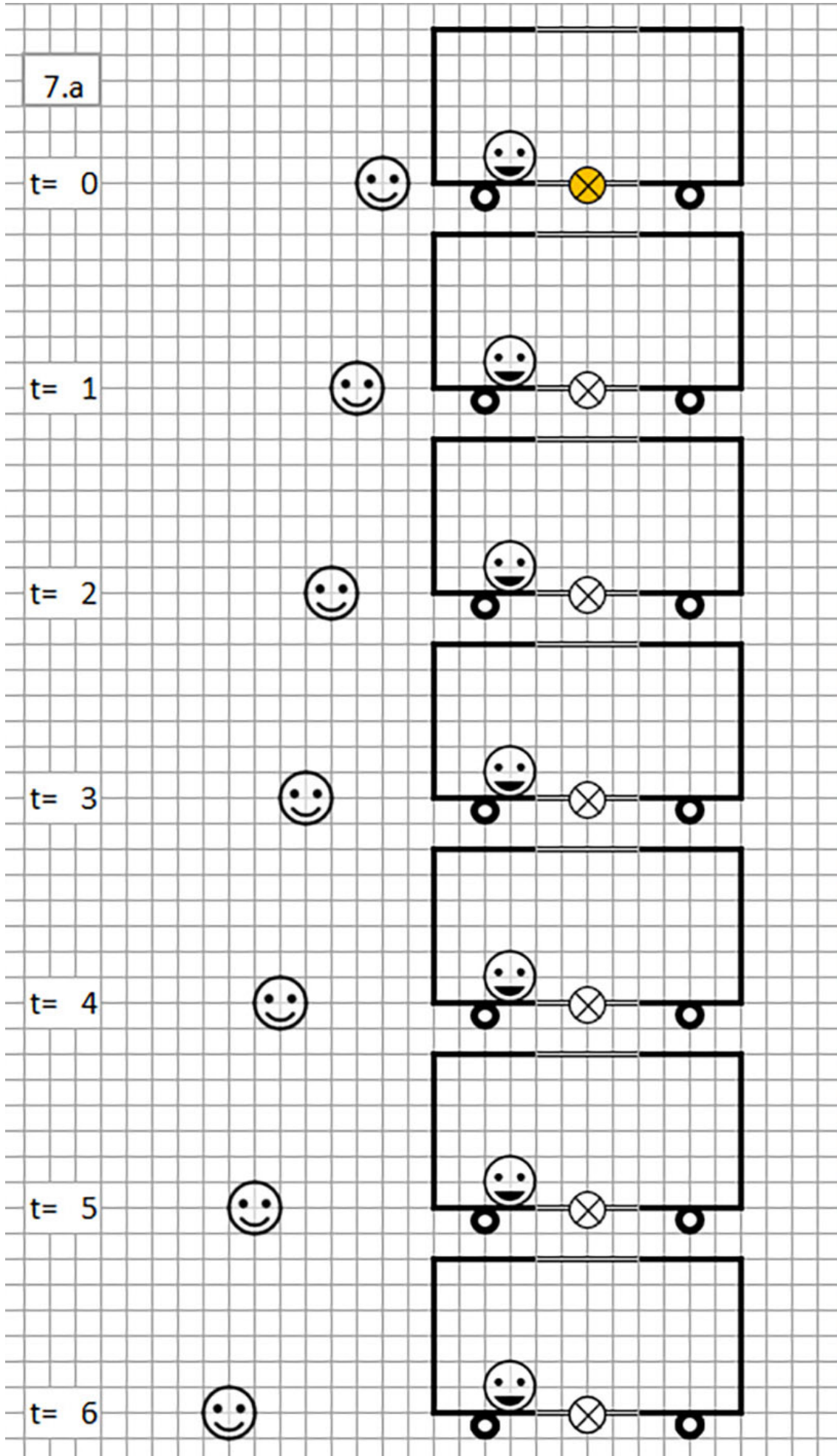
1. Hoe veranderen de verhoudingen van de tijdsduur als de relatieve snelheid tussen A en B verandert (toeneemt, afneemt)?
2. Hoe veranderen de verhoudingen van de tijdsduur als het karretje de andere kant op rijdt?

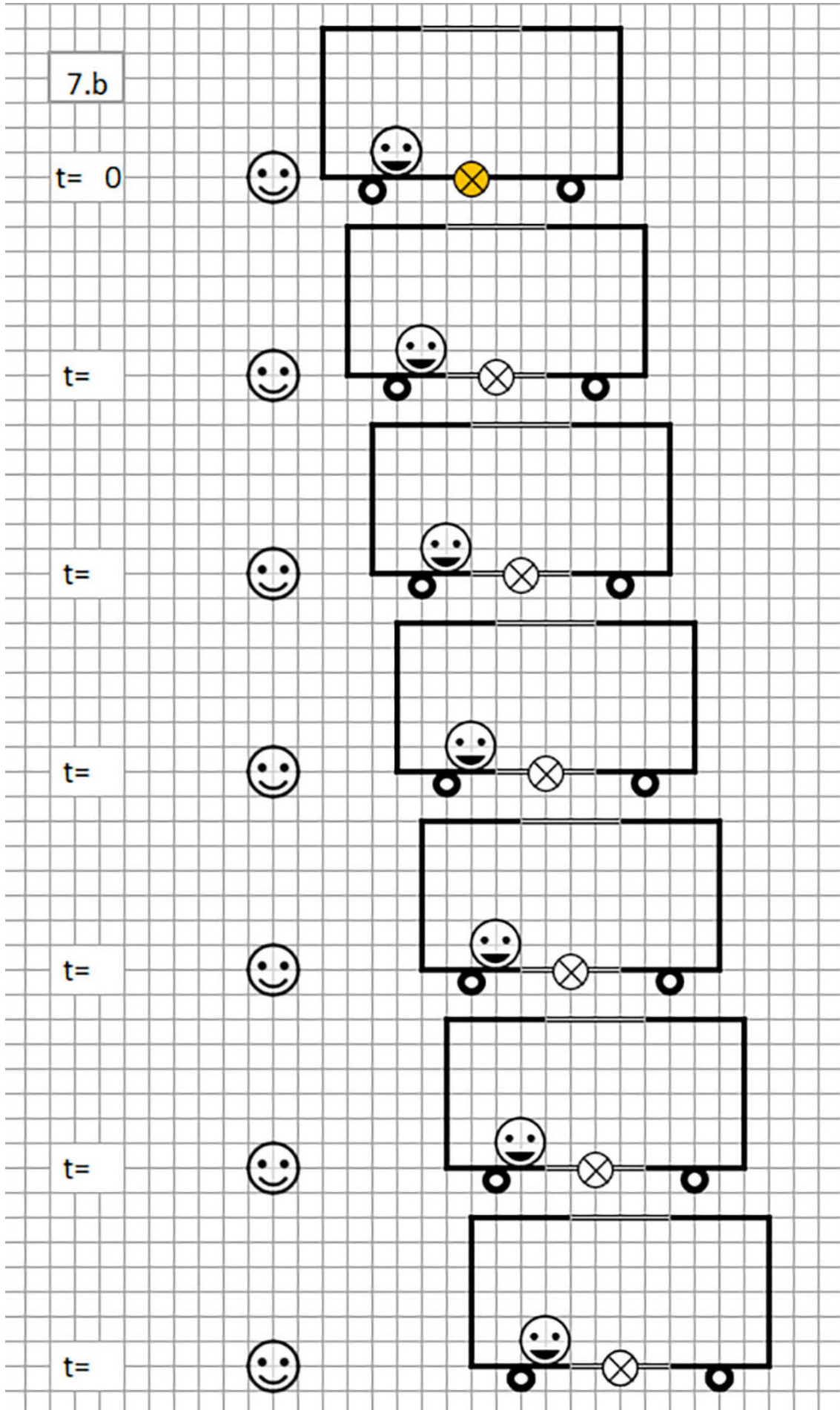
Opdracht 7.5: Samenvatting

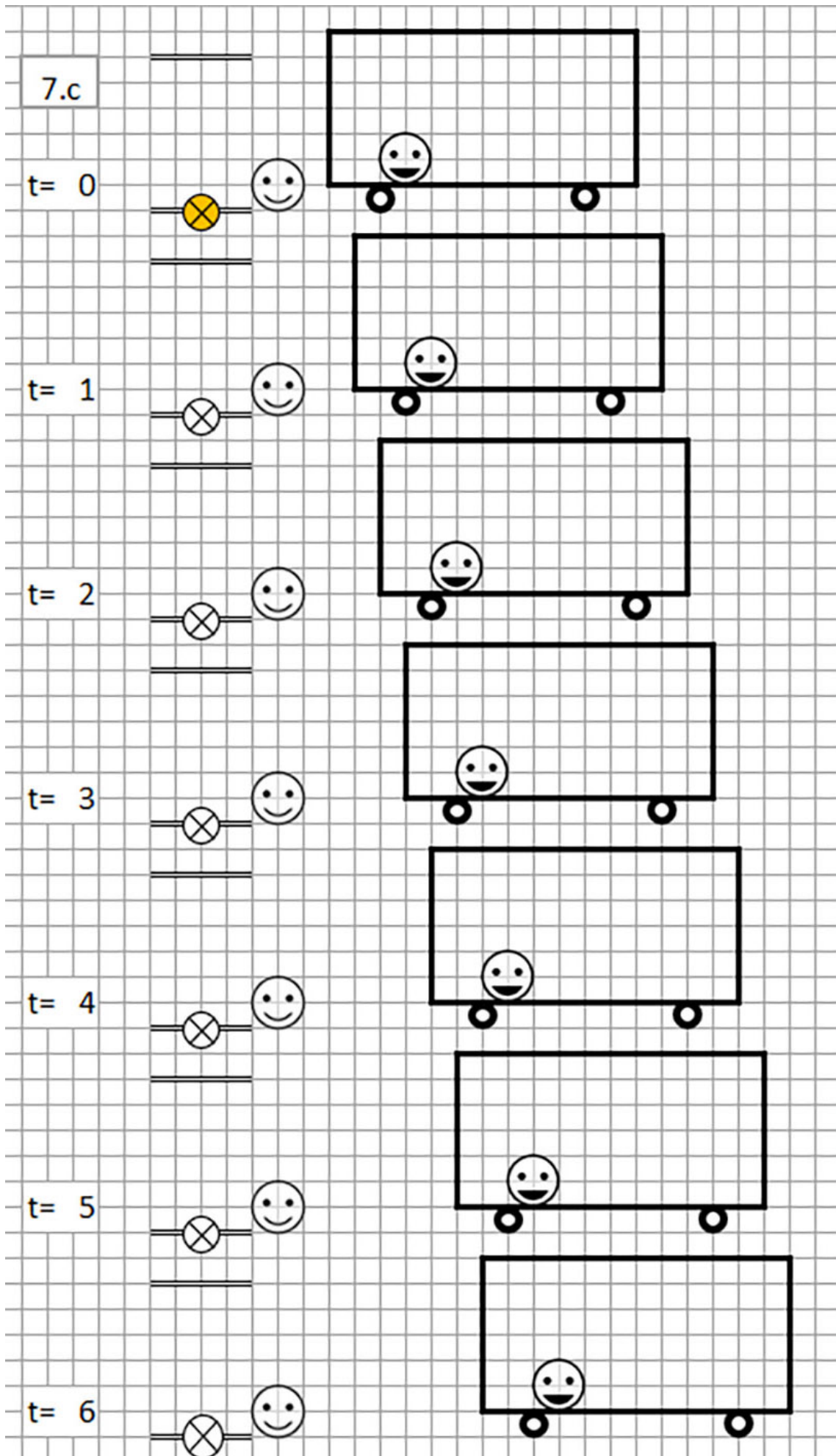
1. Wat hebben onderzoeker A in 7.a en 7.b en onderzoeker B in 7.c en 7.d met elkaar gemeen?
2. Wat hebben onderzoeker B in 7.a en 7.b en onderzoeker B in 7.c en 7.d met elkaar gemeen?
3. Hoe kunnen we in het algemeen de onderzoeker beschrijven die het kleinste tijdinterval meet?
4. Hoe kunnen we in het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

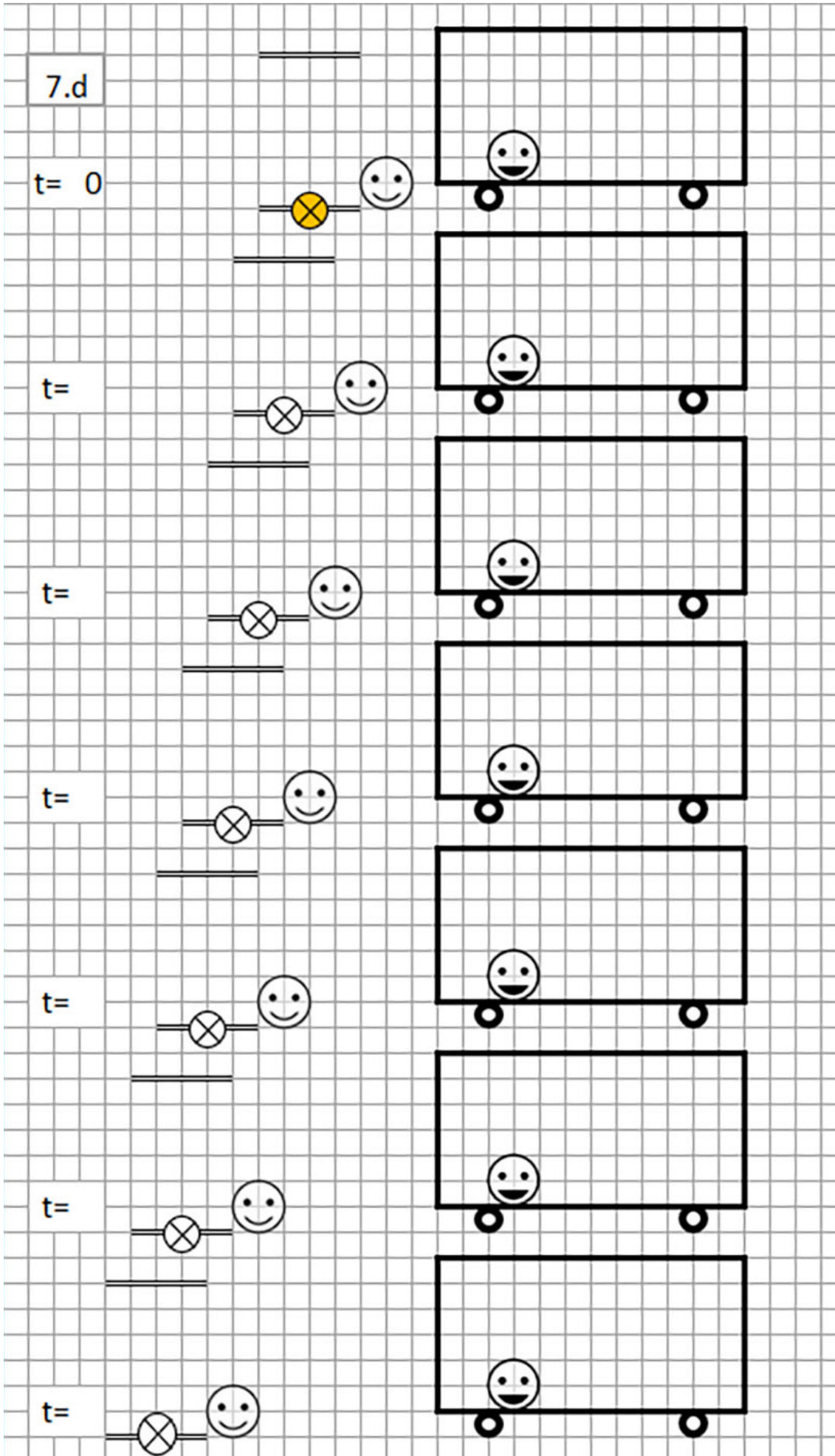
Opdracht 7.6: Beantwoorden lesvraag

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





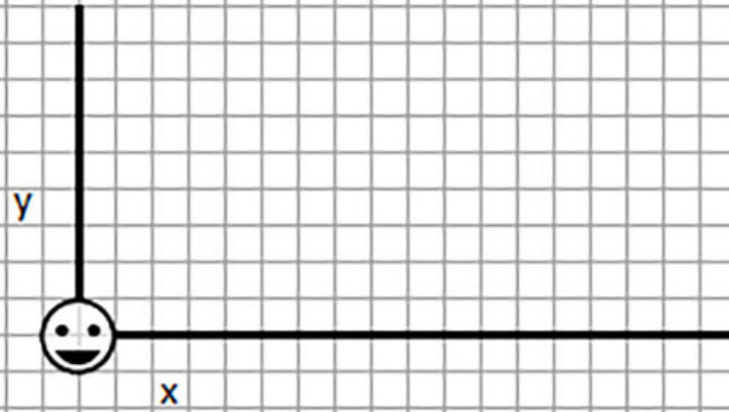




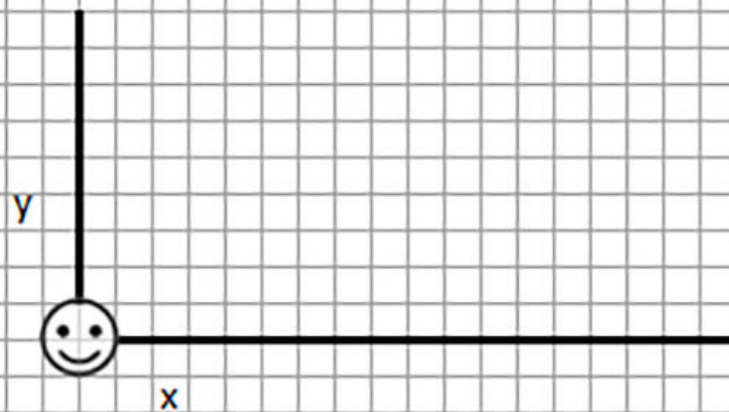


x,y-diagrammen

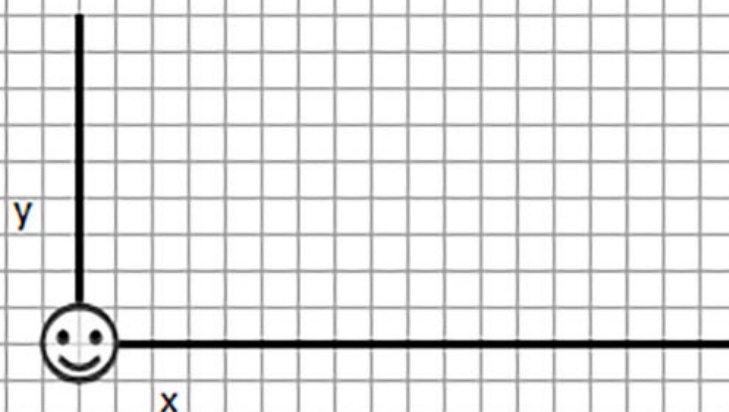
7.a



7.b



7.c



7.d

