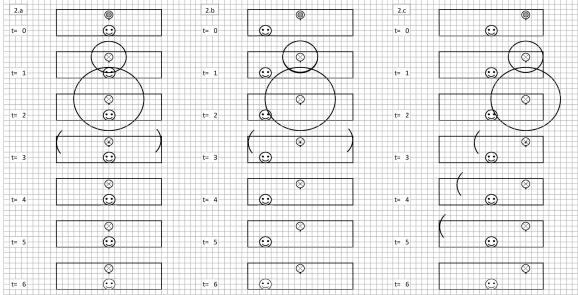


2. Hoe beweegt licht?

<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. (Hoeft 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>



<p>Fase 4: Consolideren</p> <p>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.</p> <p>En dat dit voor licht dus de vraag oproept ten opzichte van welk referentiekader licht een constante snelheid heeft.</p> <p>Volgende activiteit: oefenen met die tekenregels en daar voorspellingen mee doen.</p> <p>Leerlingen maken thuis consolidatieopdracht 2.4.</p>	<p><i>Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...</i></p>
---	--



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.

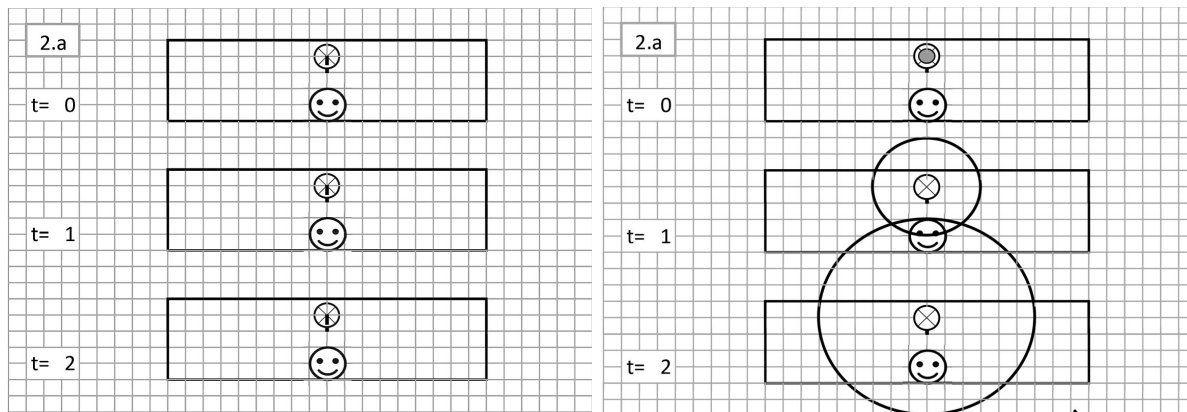
1. Bepaal bij alle diagrammen (2.a, 2.b en 2.c) op welk tijdstip het licht bij de muren van de kamer aankomt.

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

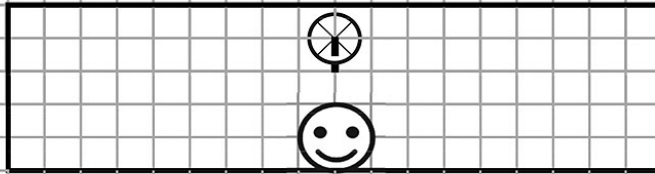
1. Hoe heb je zelf een constante snelheid toegepast in opdracht 2.2?
2. Hoe hebben anderen dat gedaan?
3. Wat is het verschil tussen de verschillende manieren van een constante snelheid toepassen?

Opdracht 2.4: Beantwoorden lesvraag

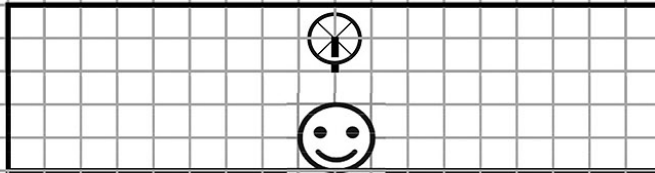
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Hoe beweegt licht?

2.a

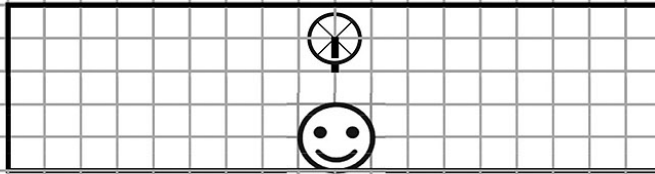
t= 0



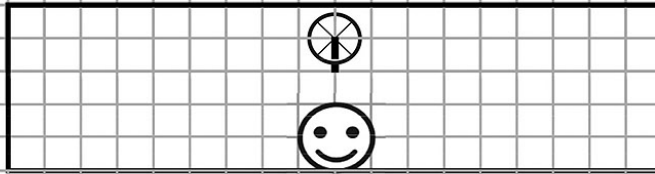
t= 1



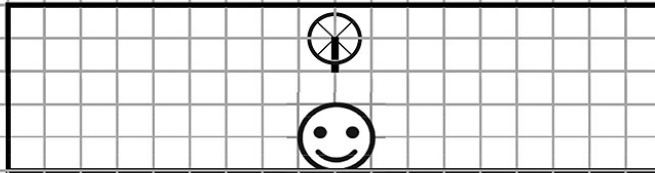
t= 2



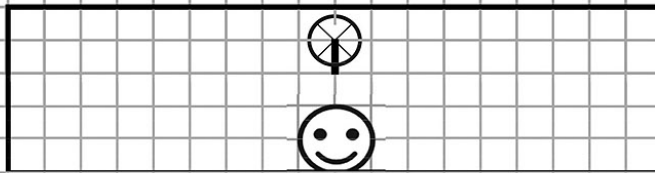
t= 3



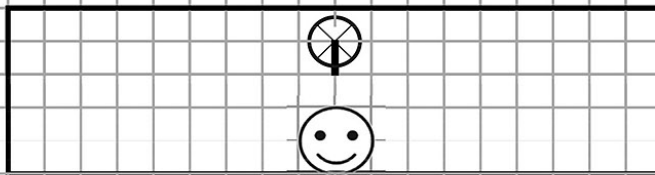
t= 4



t= 5



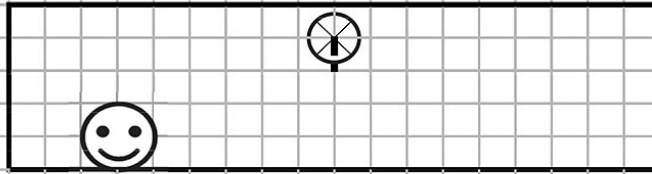
t= 6



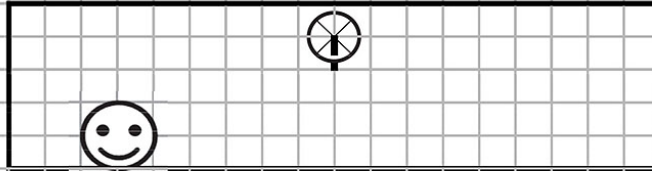


2.b

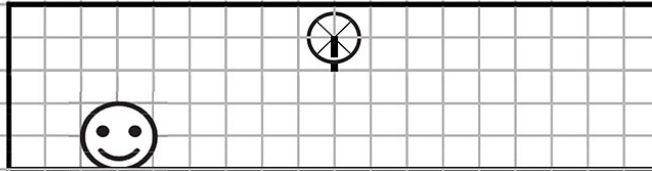
t= 0



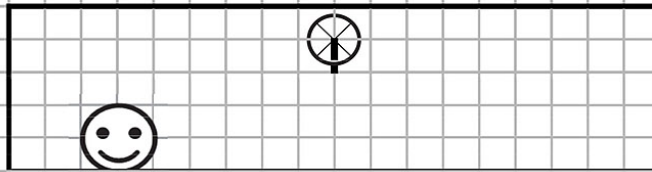
t= 1



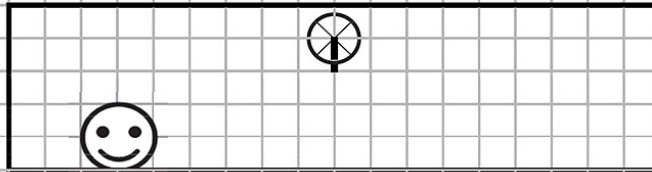
t= 2



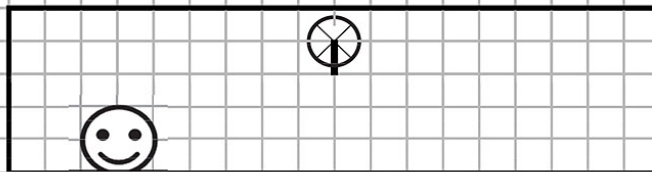
t= 3



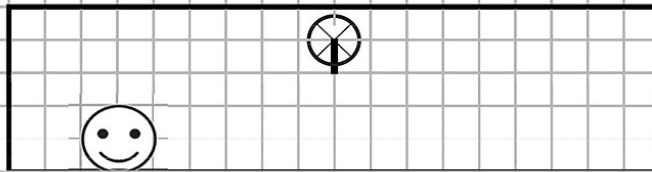
t= 4



t= 5

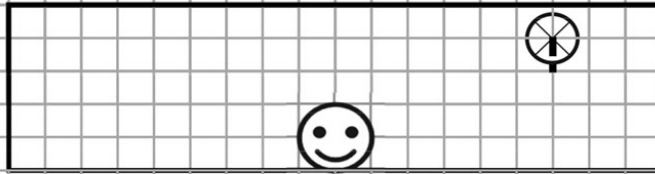


t= 6

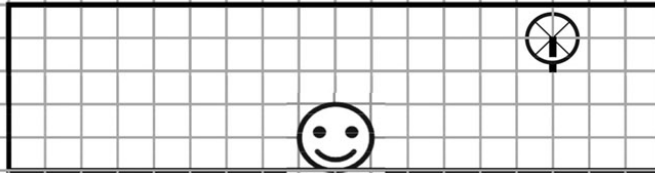


2.c

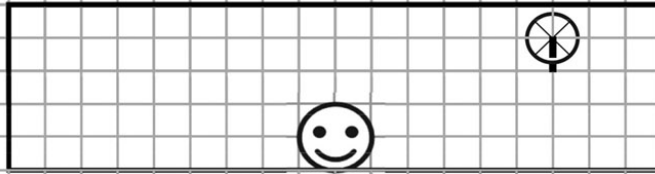
t= 0



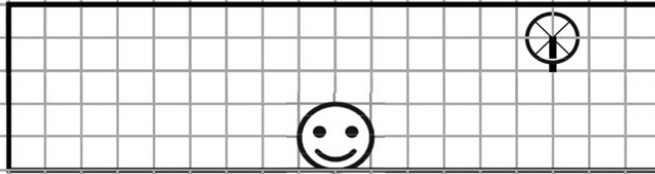
t= 1



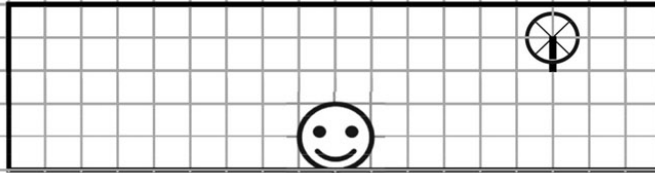
t= 2



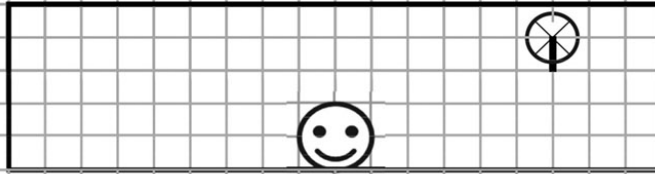
t= 3



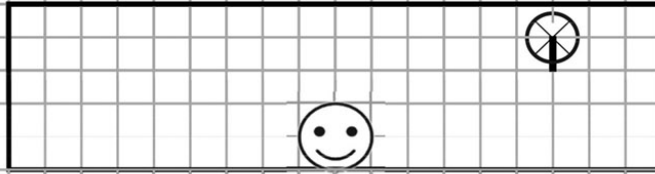
t= 4

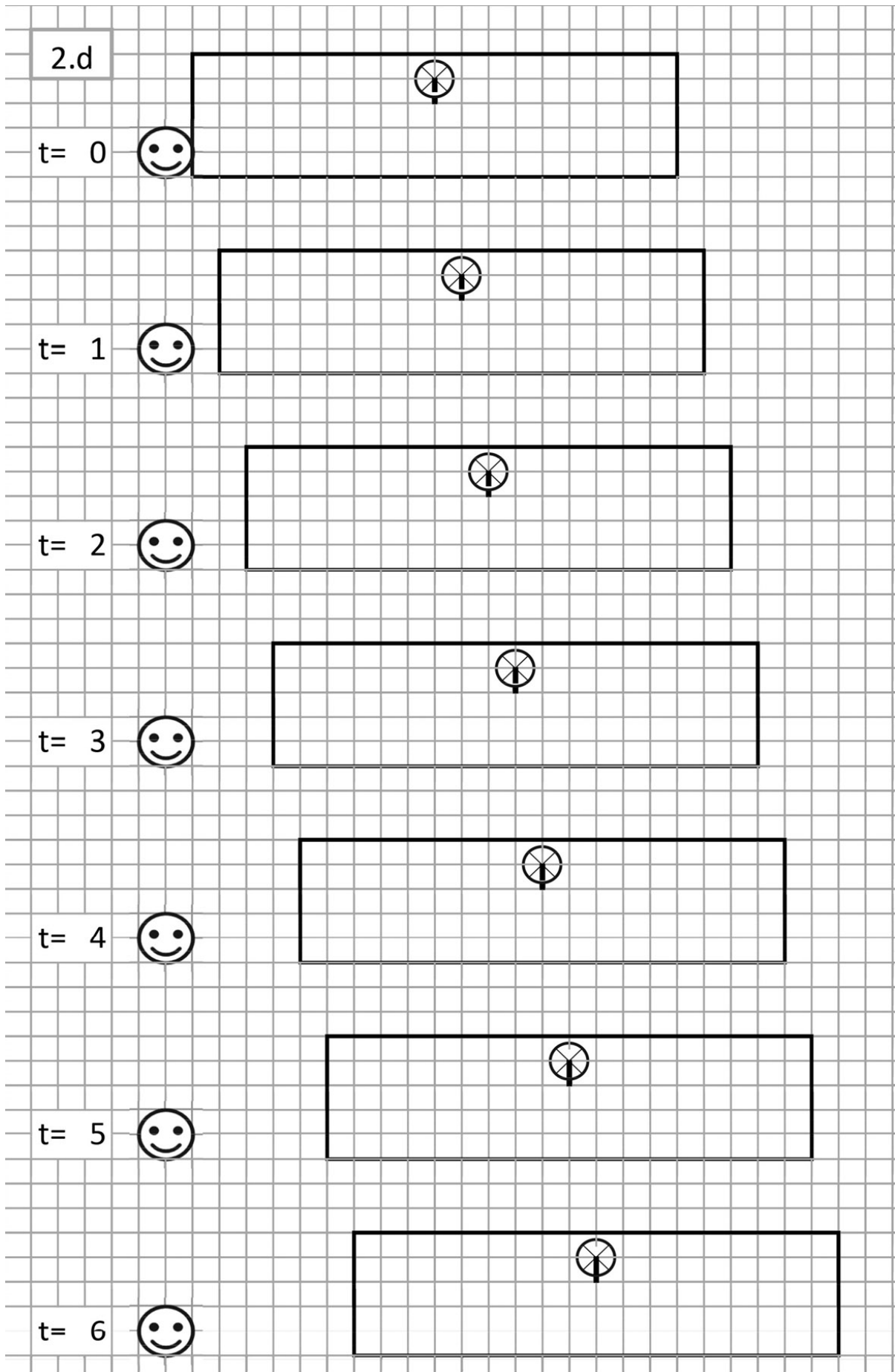


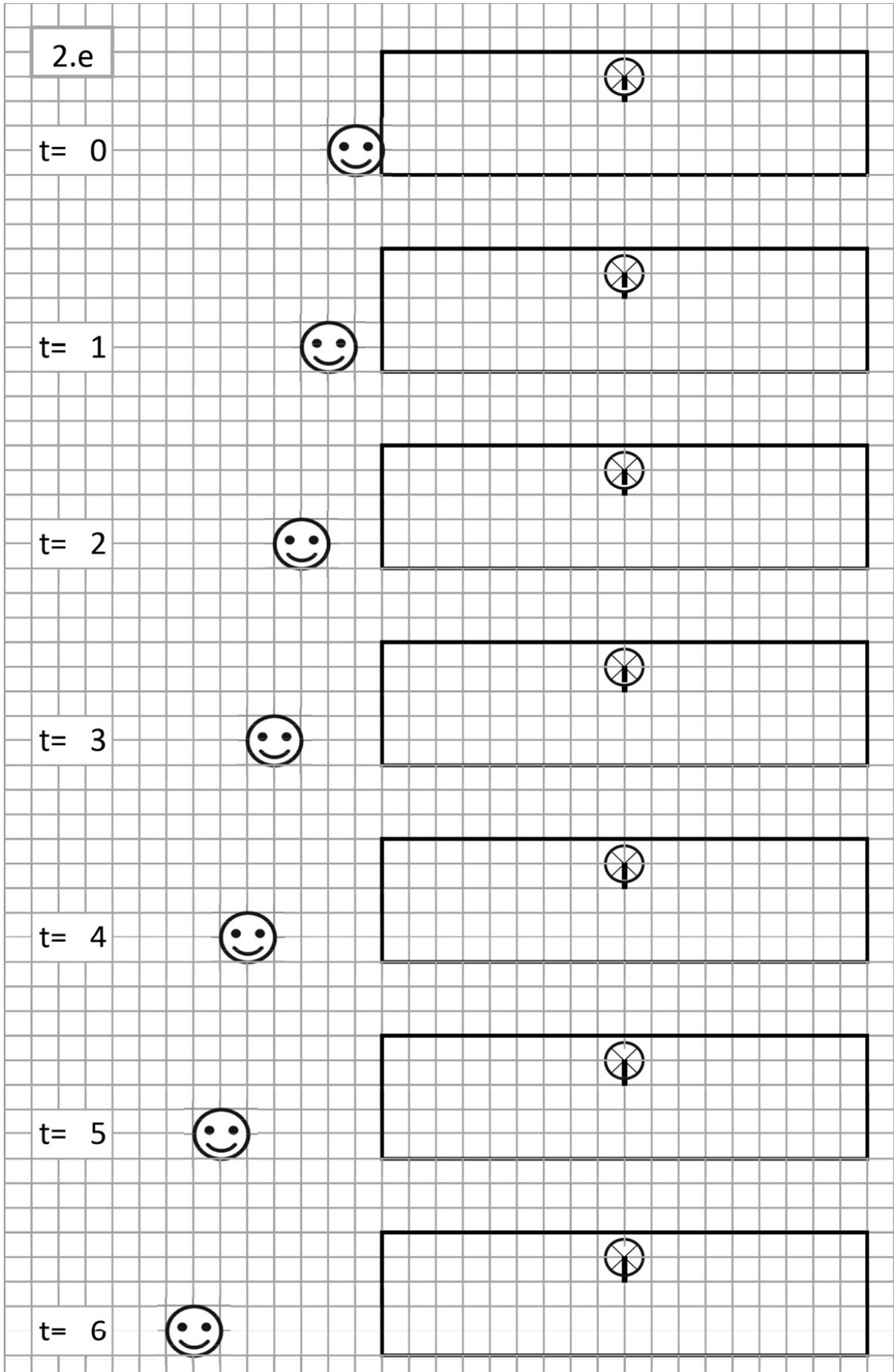
t= 5



t= 6

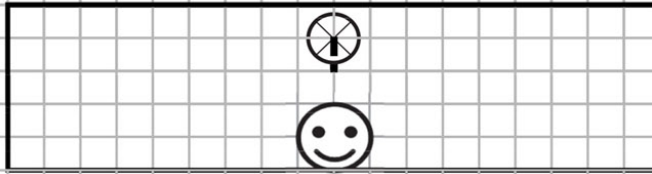




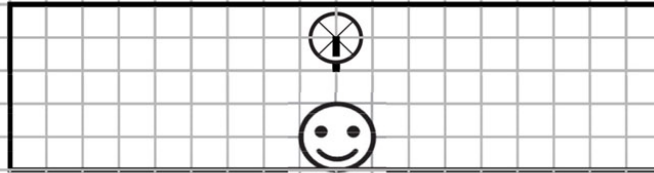


2.f

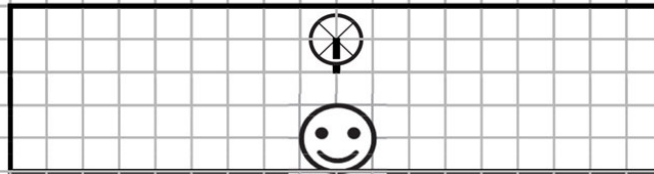
t= 0



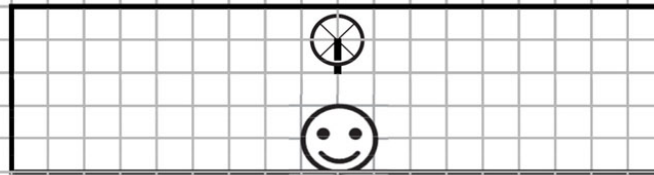
t= 1



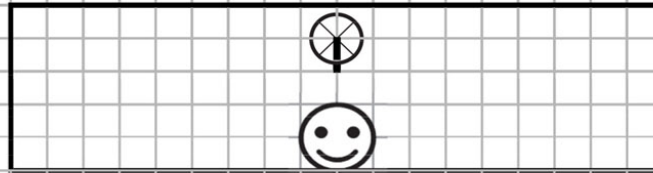
t= 2



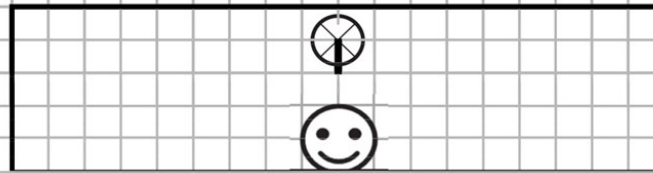
t= 3



t= 4

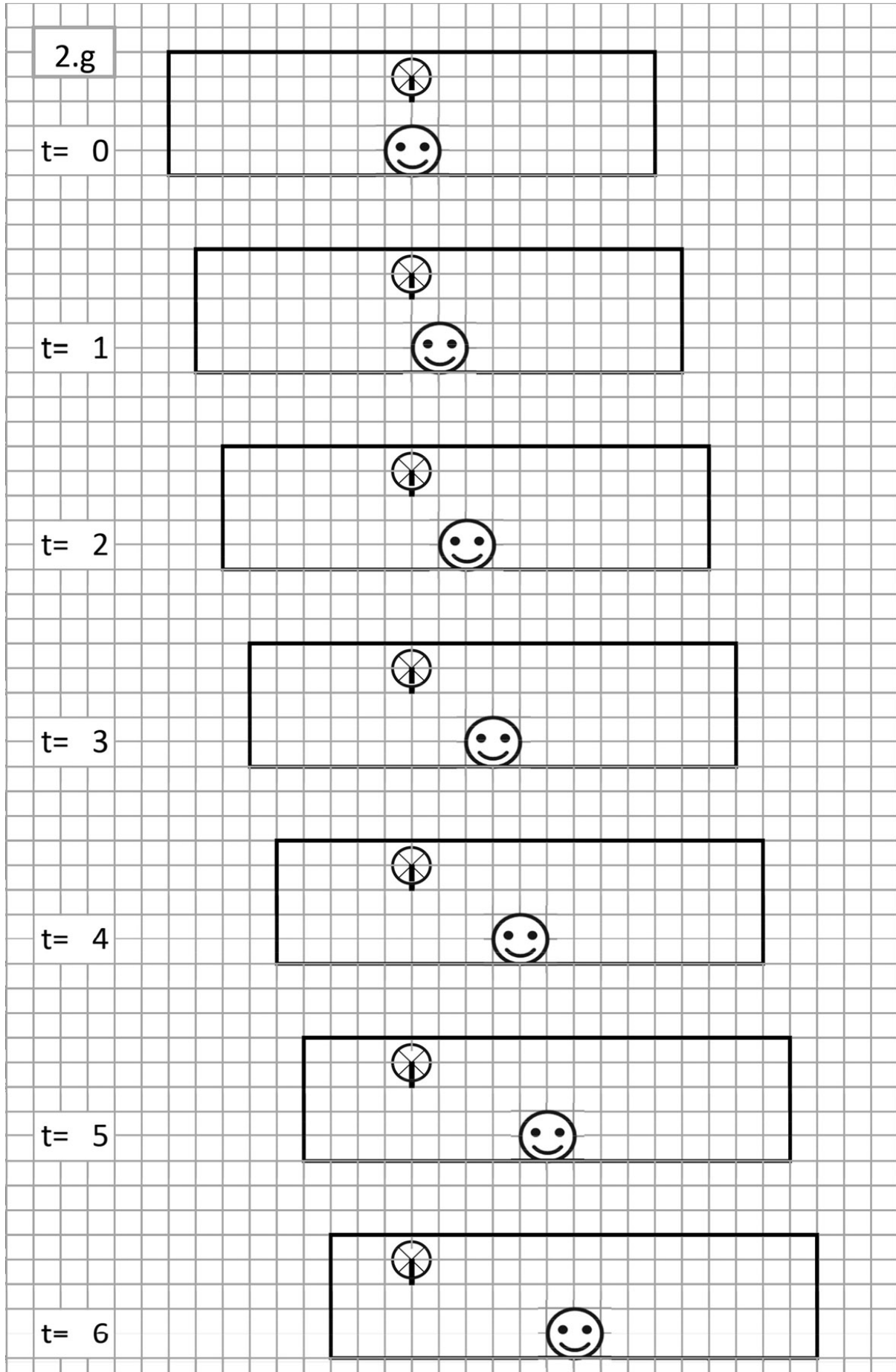


t= 5



t= 6





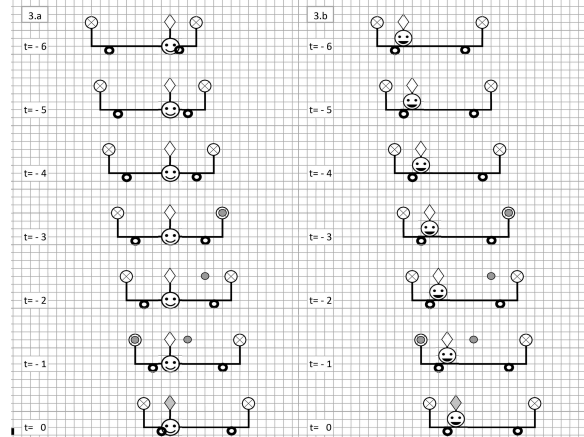
3. Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

<p>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.</p>	
<p>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.</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 en noemt dat er nu geoefend gaat worden met de tekenregels en daar voorspellingen mee doen. Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?</p> <p>De docent scherpt de vraag uit de vorige les aan tot: Hoe kan je bepalen welk referentiekader overeenkomt met hoe licht zich daadwerkelijk gedraagt?</p> <p>De docent verbindt de manieren van spontaan redeneren aan modelmatig redeneren met het voortbewegen van licht. (<i>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.</i>) De docent vertelt dat dit beide plausibele modellen zijn voor het voortbewegen van licht.</p> <p>Docent herhaalt de tekenregels, inclusief een eventuele derde tekenregel als die in het klassengesprek naar voren is gekomen.</p>	<p>Mogelijke uitkomsten</p> <p>Tekenregel 1 ten opzichte van papier:</p> <p>Licht is tussen $t = -1$ en $t = -2$ uitgezonden door de linker lamp en tussen $t = -2$ en $t = -3$ door de rechter lamp.</p> <p>Tekenregel 2 ten opzichte van de 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.

De docent laat leerlingen opdracht 3.3 maken. In deze opdracht reflecteren leerlingen op de snelheden in opdracht 3.1 en 3.2.

Docent geeft de juiste antwoorden, leerlingen vergelijken deze met hun eigen uitkomsten.



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

Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)

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.

.

De docent laat leerlingen kort uitwisselen met een medeleerling over de opdracht. De reflectievragen van opdracht 3.4 staan ook op het bord.

Mogelijke denkbeelden van leerlingen

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.

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>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)

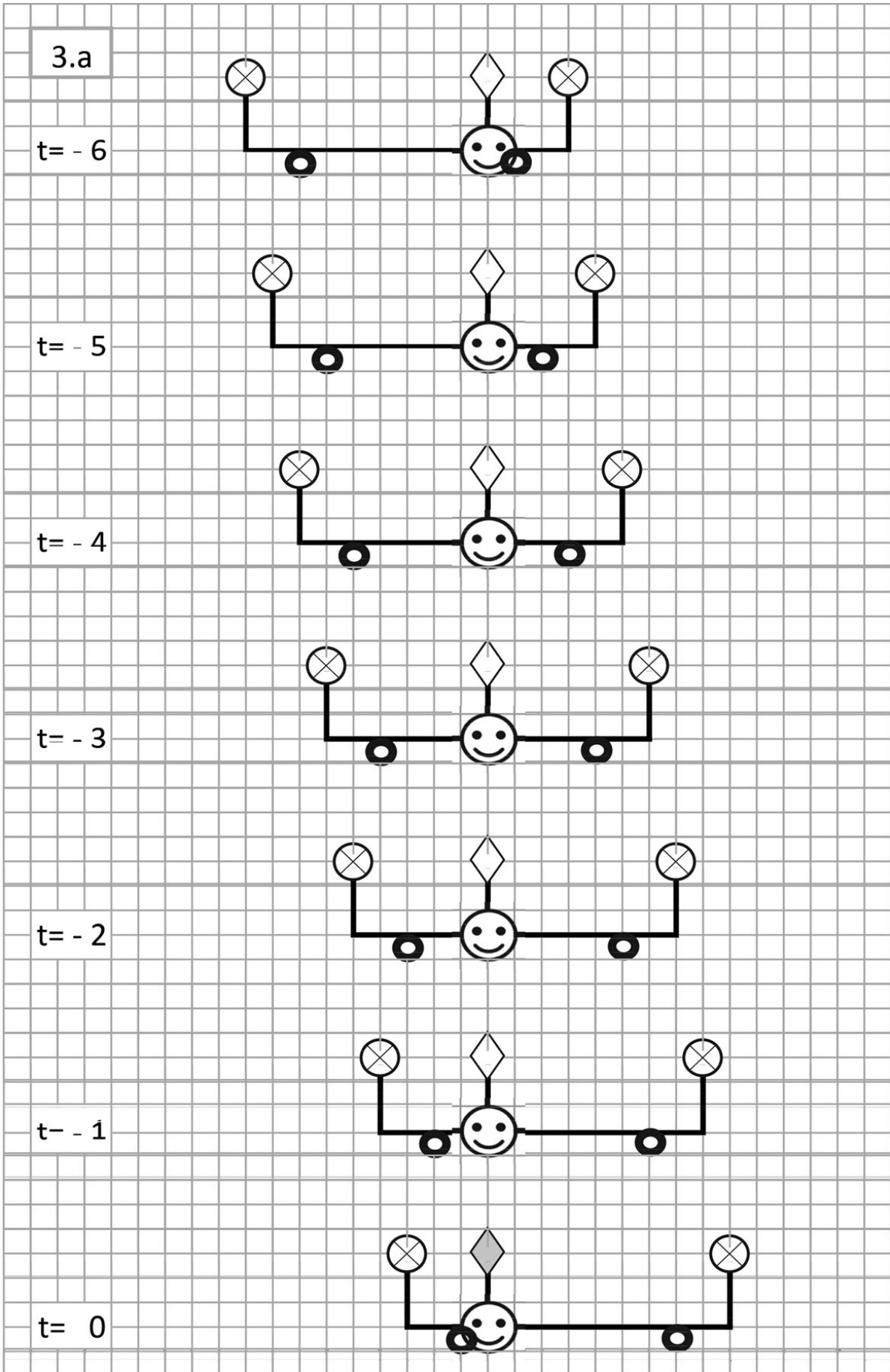
1. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 2 gebruikt.
2. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
3. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

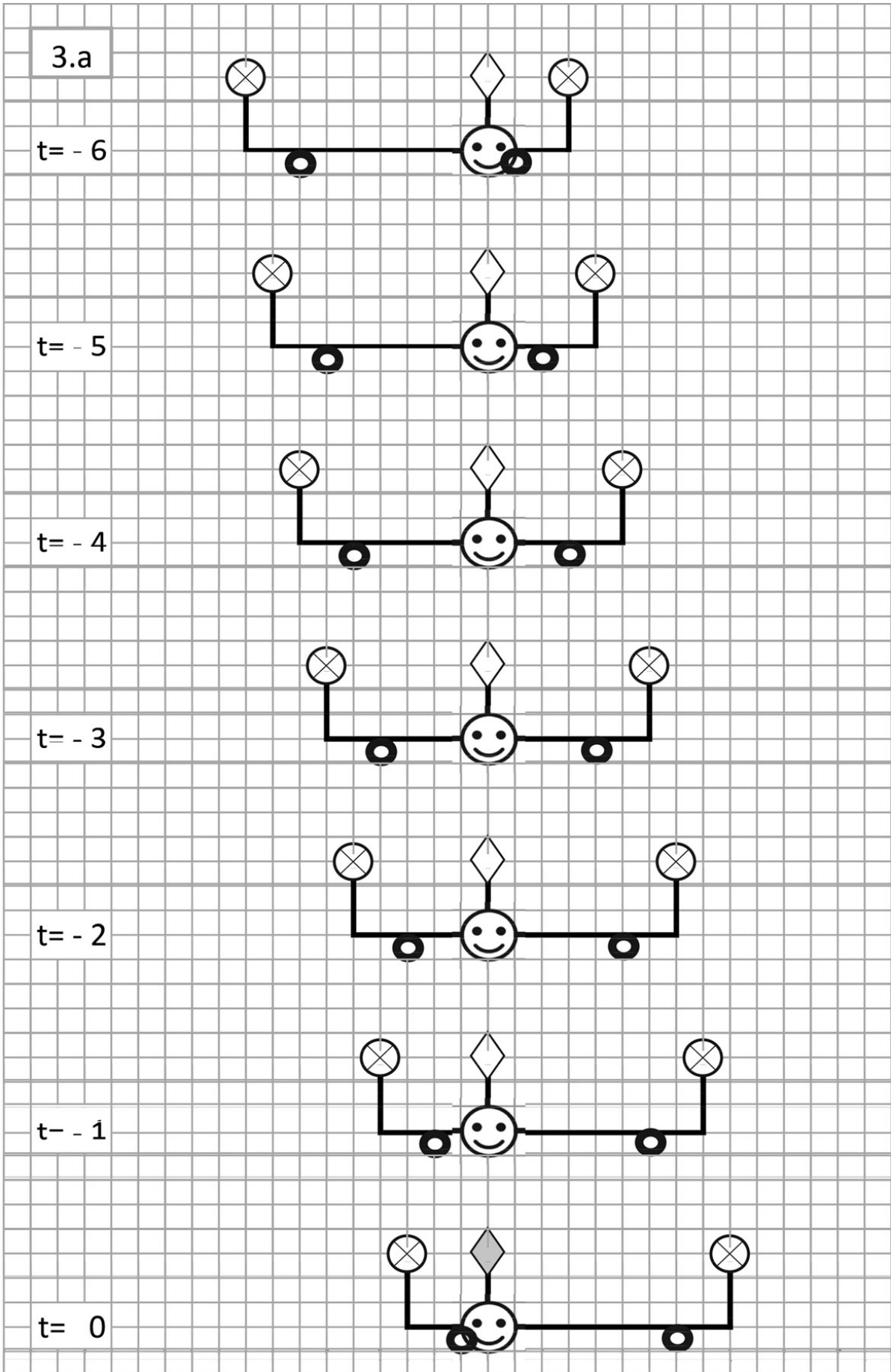
Inertiaalstelsel van de onderzoeker die met de lichtbron meebeweegt (diagram 3.f)

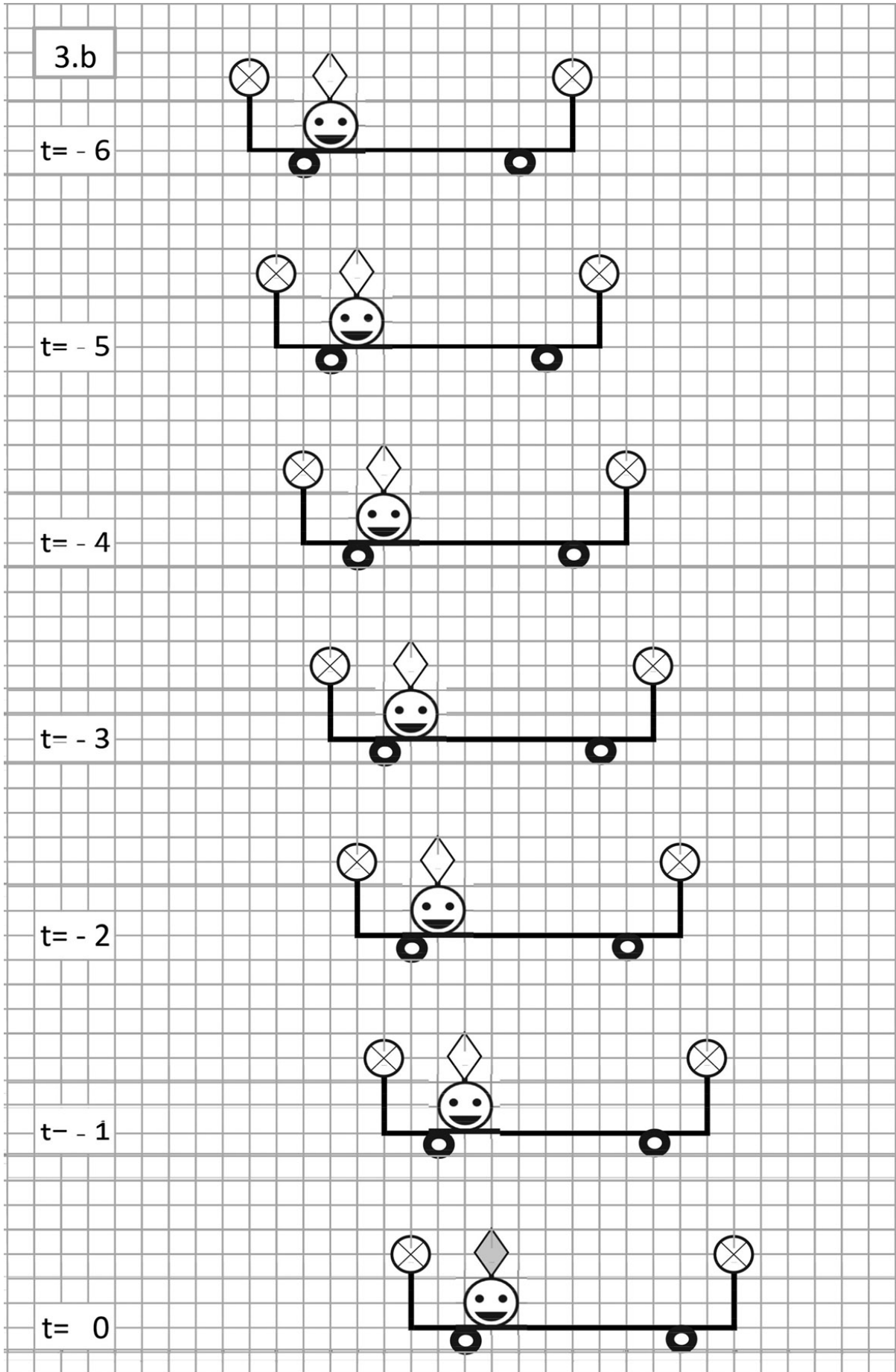
4. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 2 gebruikt.
5. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
6. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

Opdracht 3.8: Beantwoorden lesvraag

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









3.b

$t = -6$



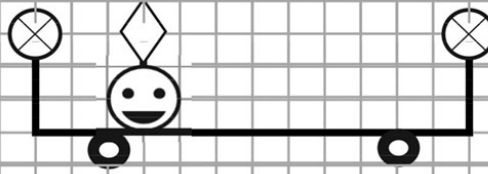
$t = -5$



$t = -4$



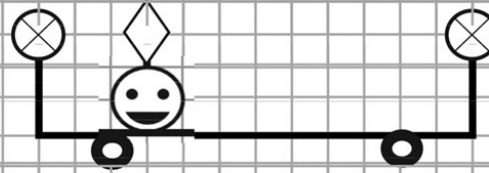
$t = -3$



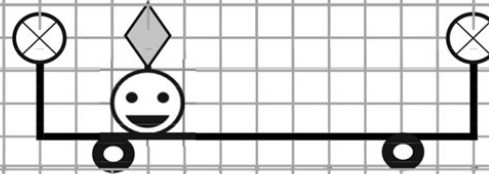
$t = -2$

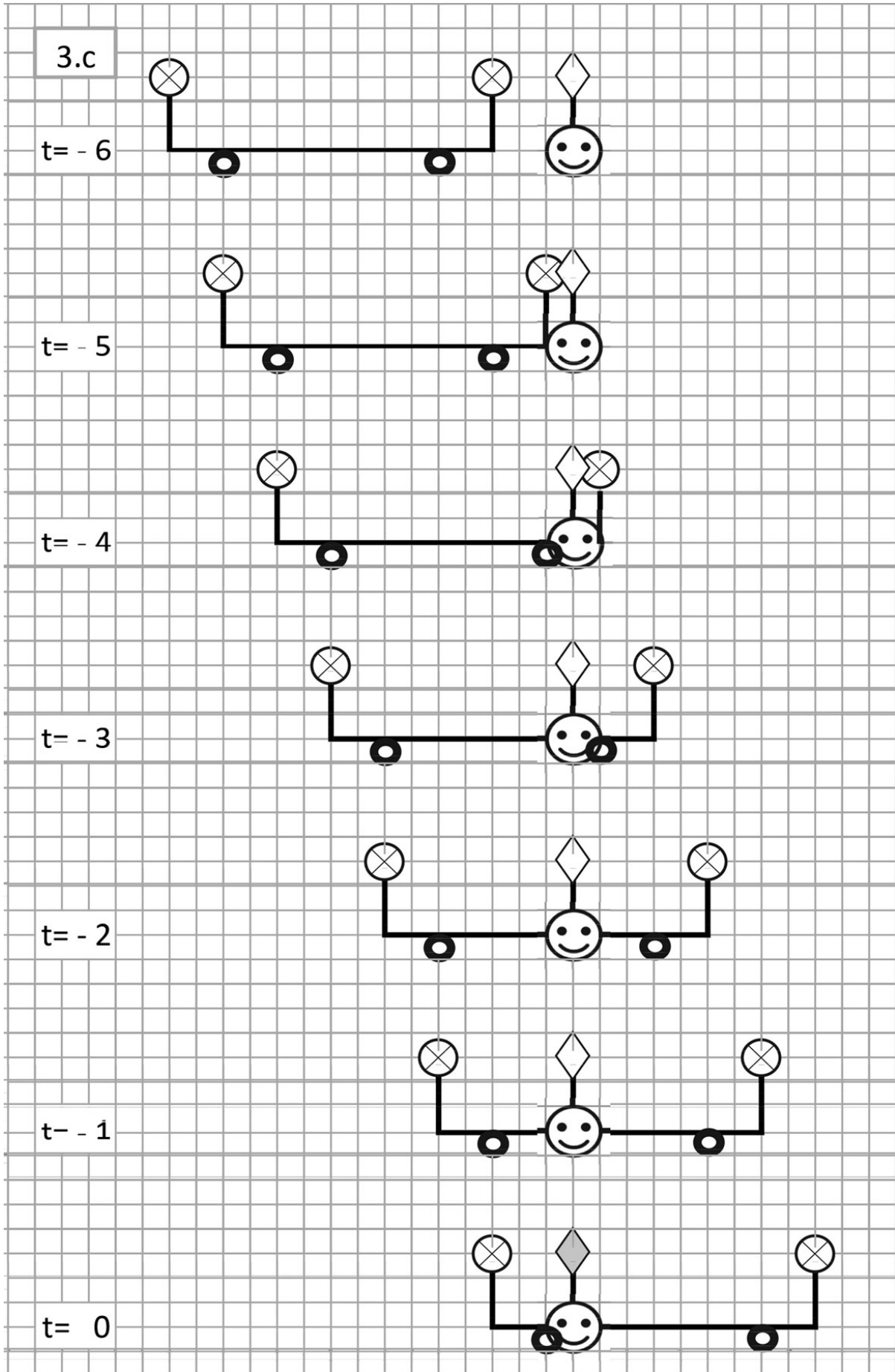


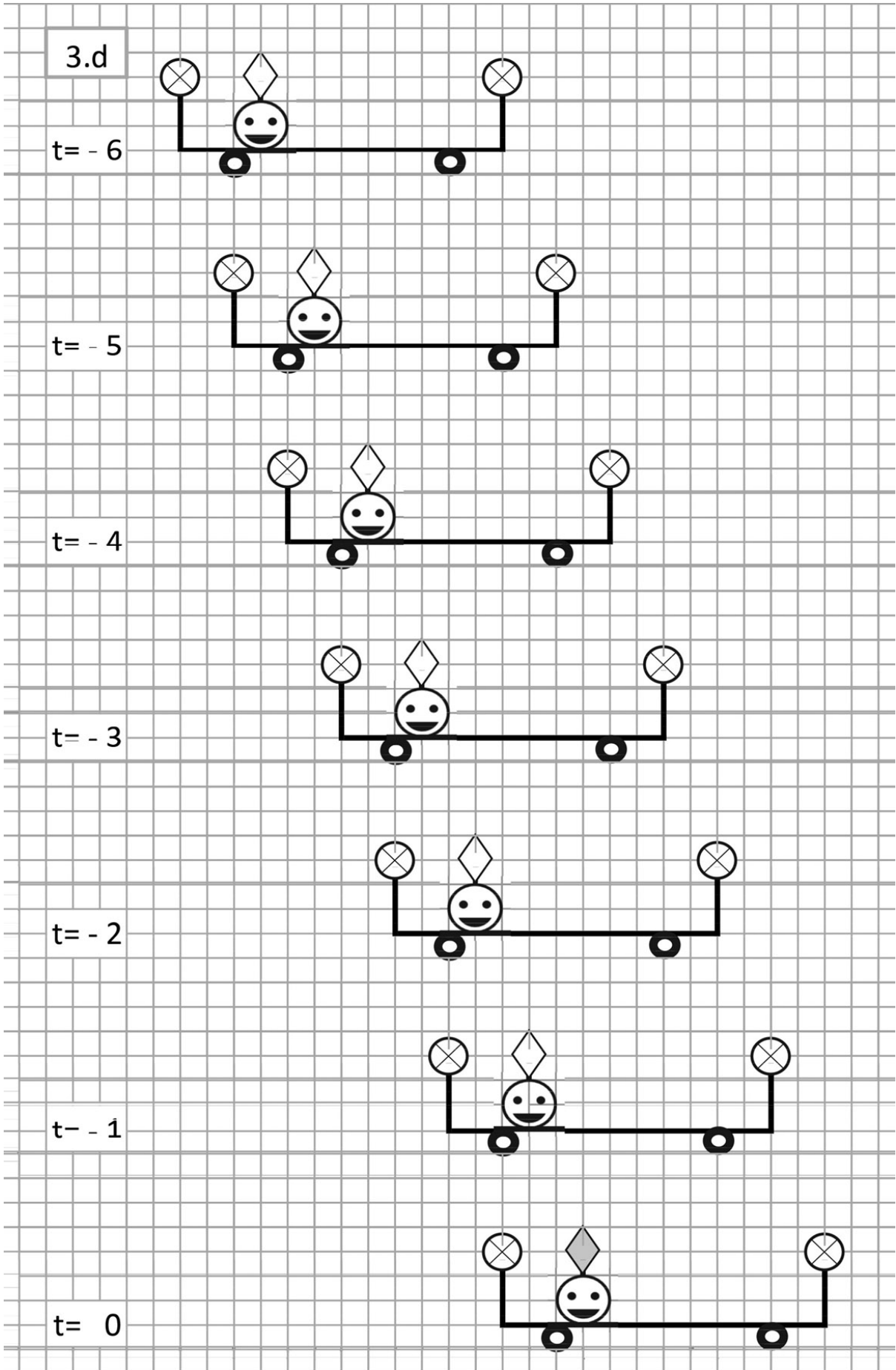
$t = -1$

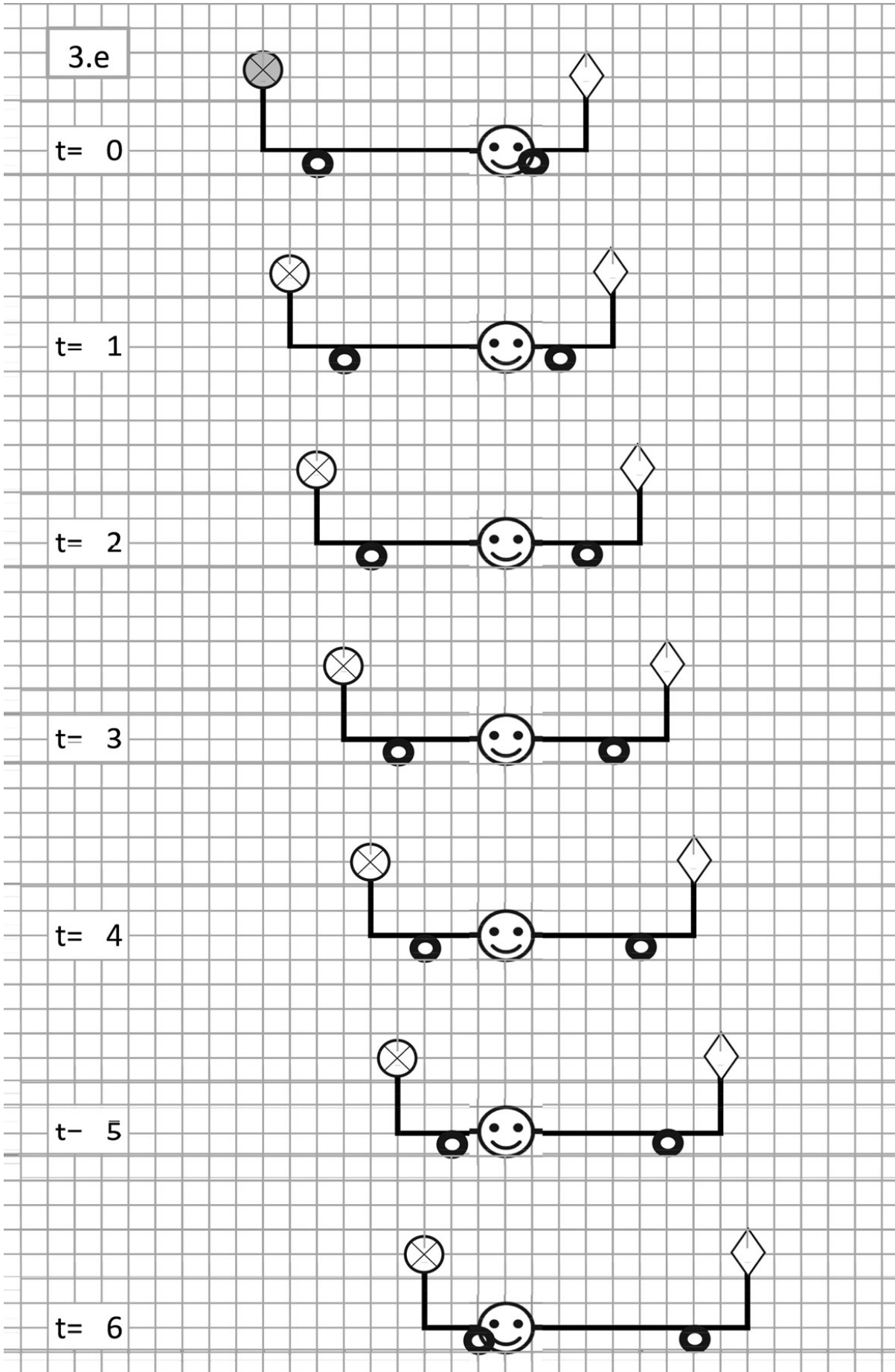


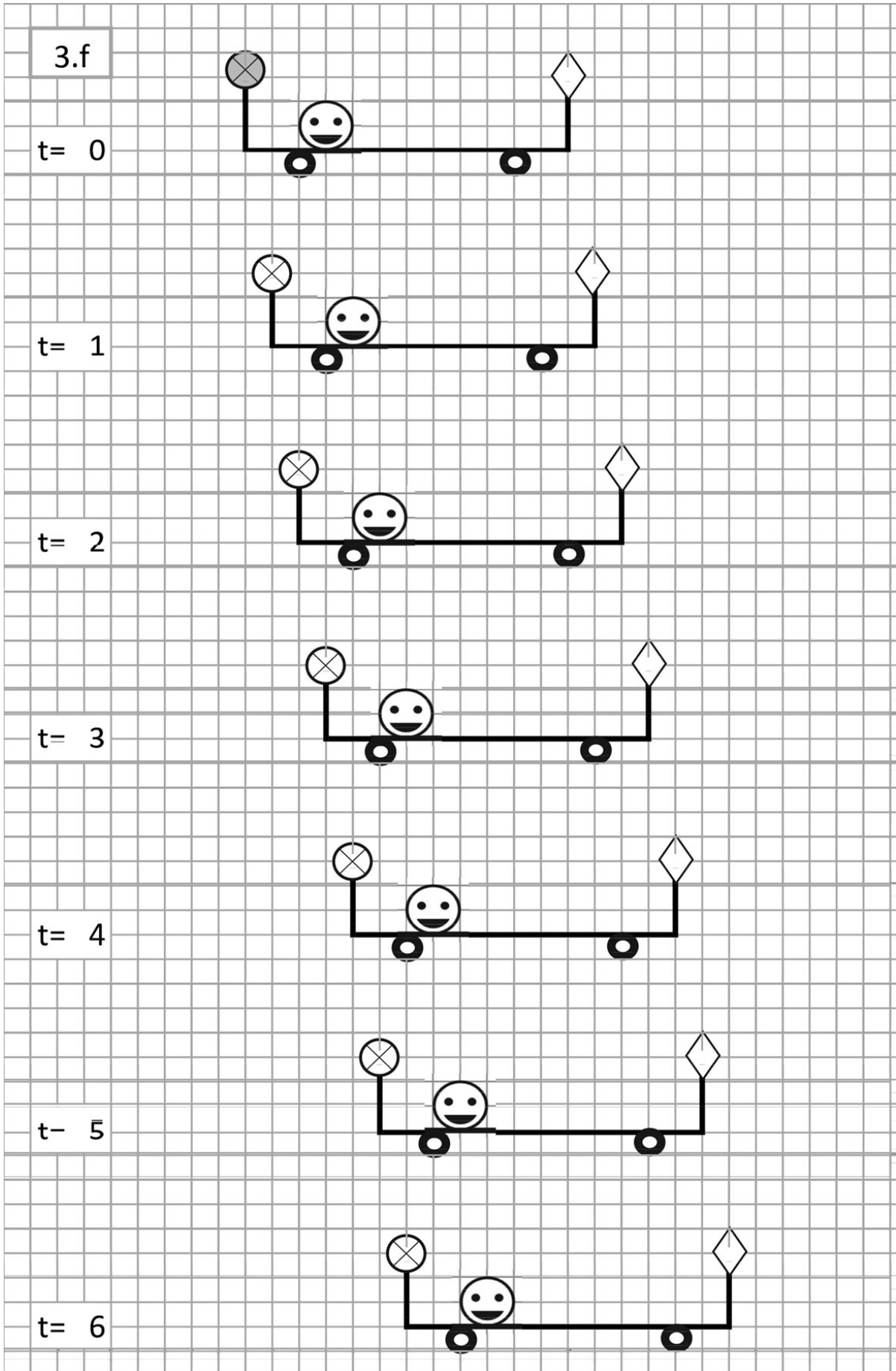
$t = 0$













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=HXLj5J4I1nY 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 uitsluitend 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?