



## **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.**

5. 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.
6. 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.*
7. 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:

8. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de waarnemer.
9. De waarnemer *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.
10. 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.**

5. 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.
6. 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.*
7. 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:

8. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de waarnemer.
9. De waarnemer *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.
10. 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?

### 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

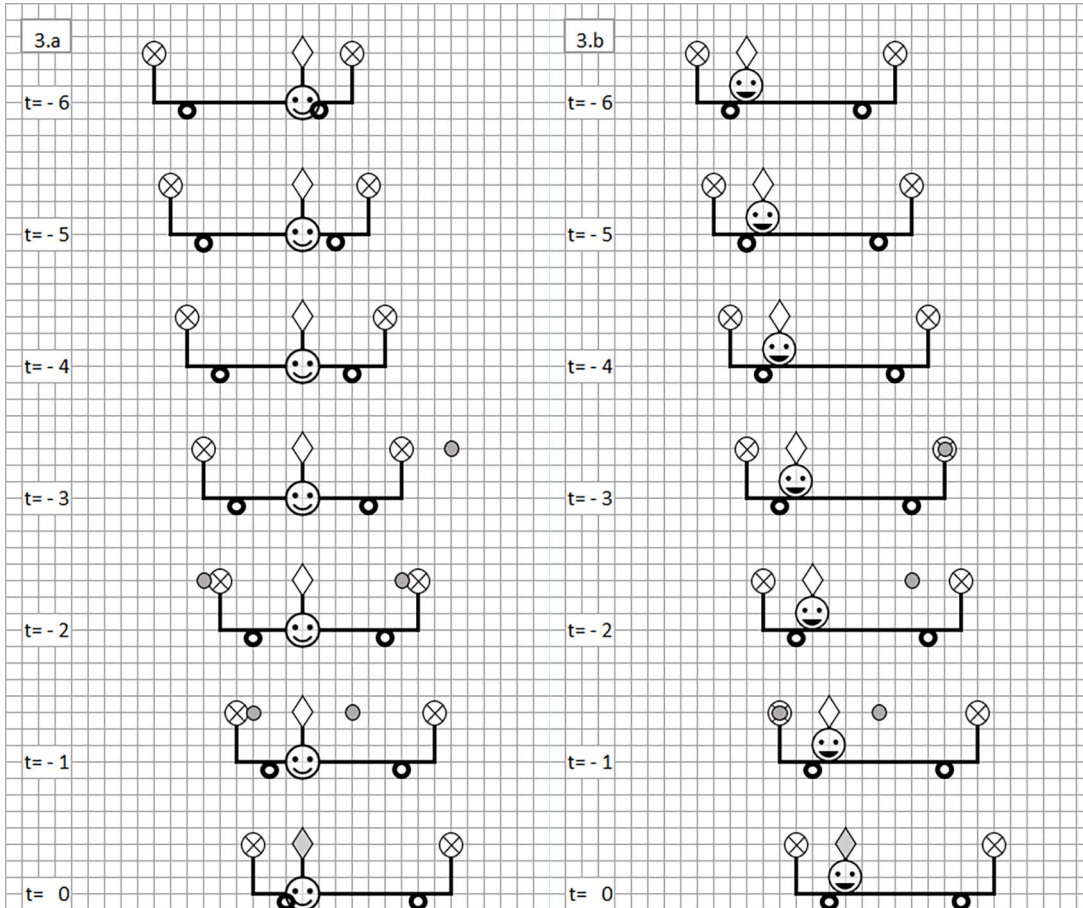
Vat de opbrengst van de afgelopen lessen in onderstaand schema samen.

<b>Michelson Morley</b>	<b>De Sitter</b>
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:	Snelheid licht t.o.v. waarnemer naar rechts:
naar links:	naar links:
Snelheid licht t.o.v. lamp naar rechts:	Snelheid licht t.o.v. lamp naar rechts:
naar links:	naar links:
Snelheid licht t.o.v. ruitjespapier naar rechts:	Snelheid licht t.o.v. ruitjespapier naar rechts:
naar links:	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.

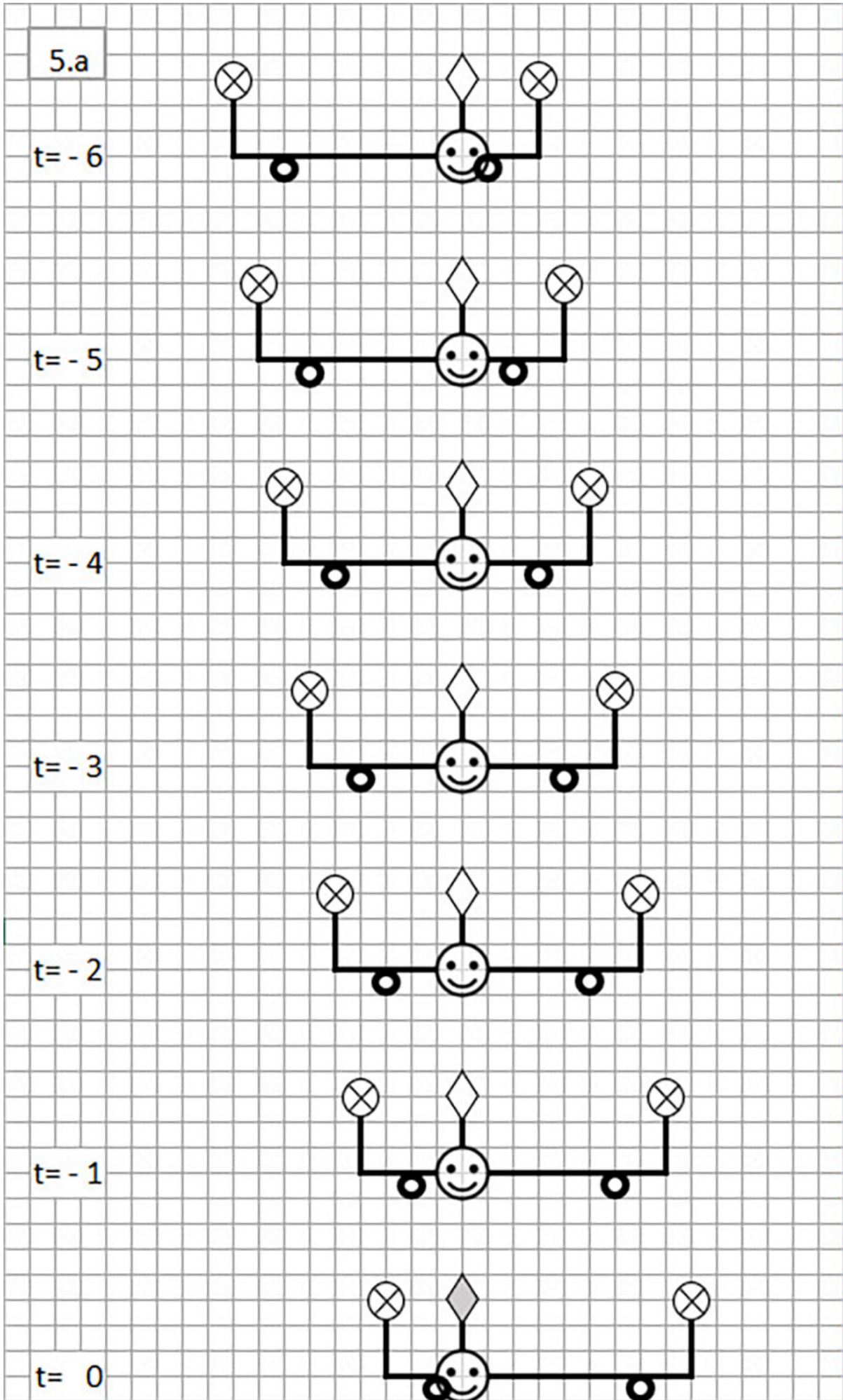
### Opdracht 5.4: Verwerkingsopdracht

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

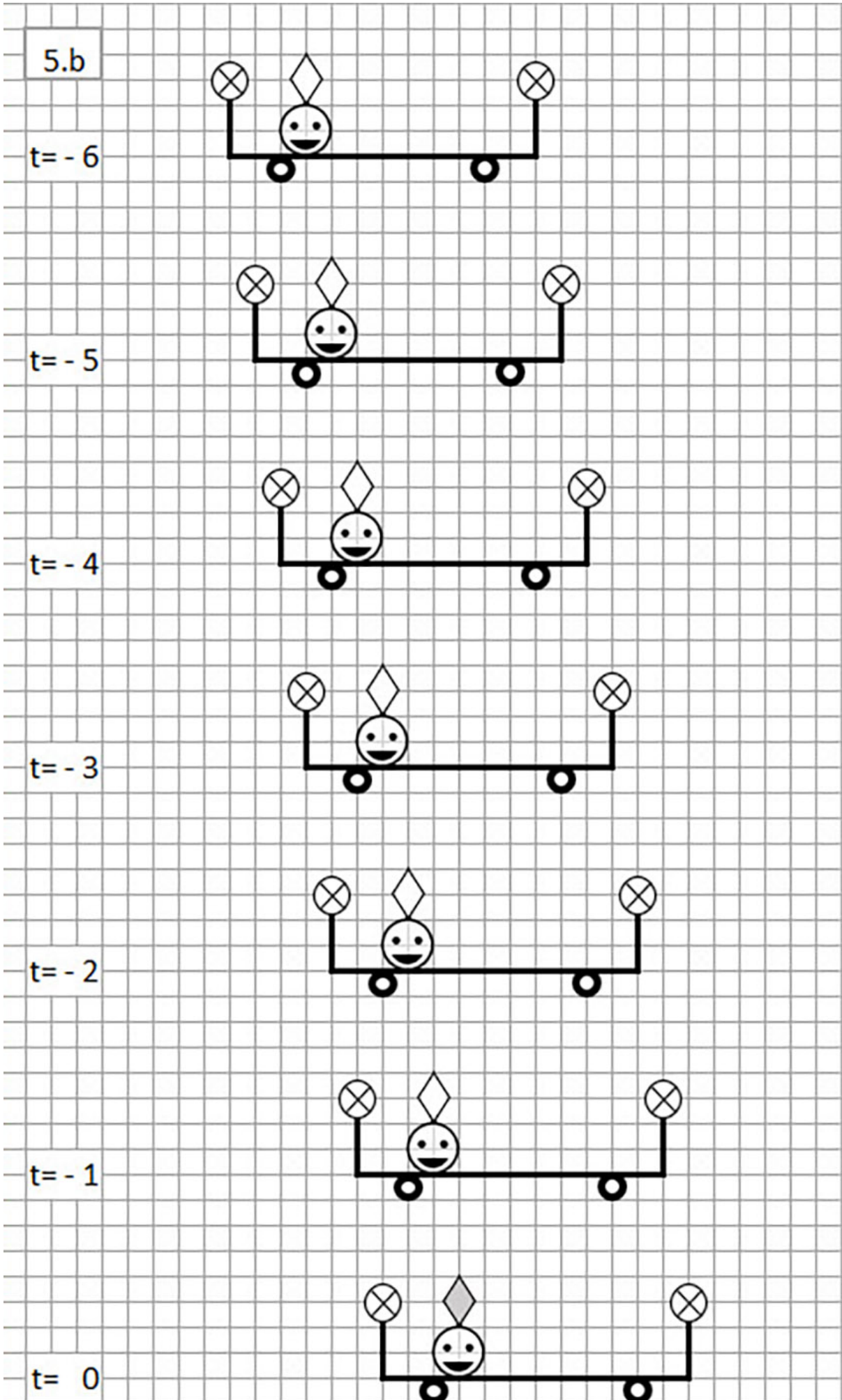
Teken het voortbewegen van licht in deze diagrammen voor de verschillende onderzoekers die staan weergegeven.

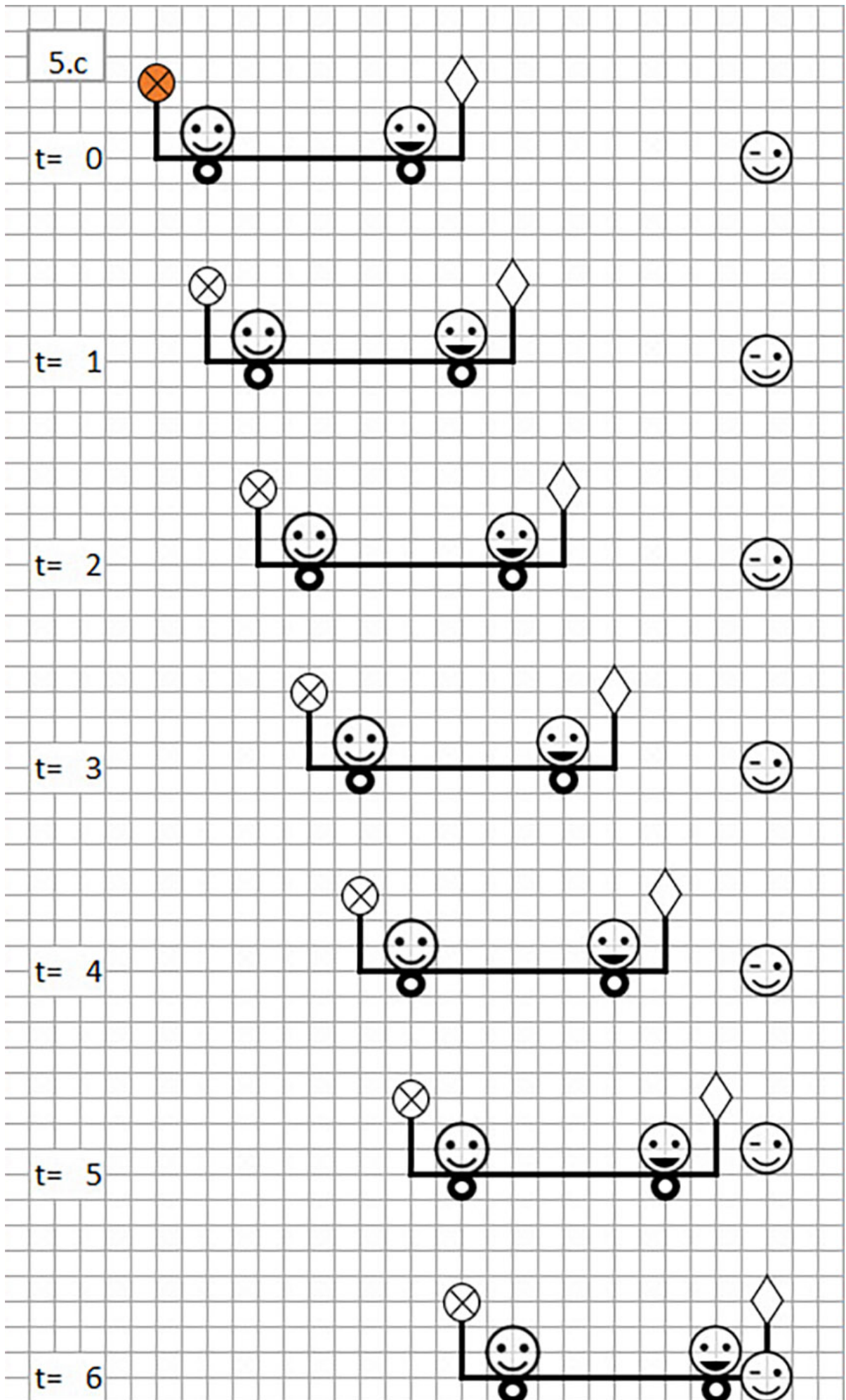
### Opdracht 5.5: Beantwoorden lesvraag

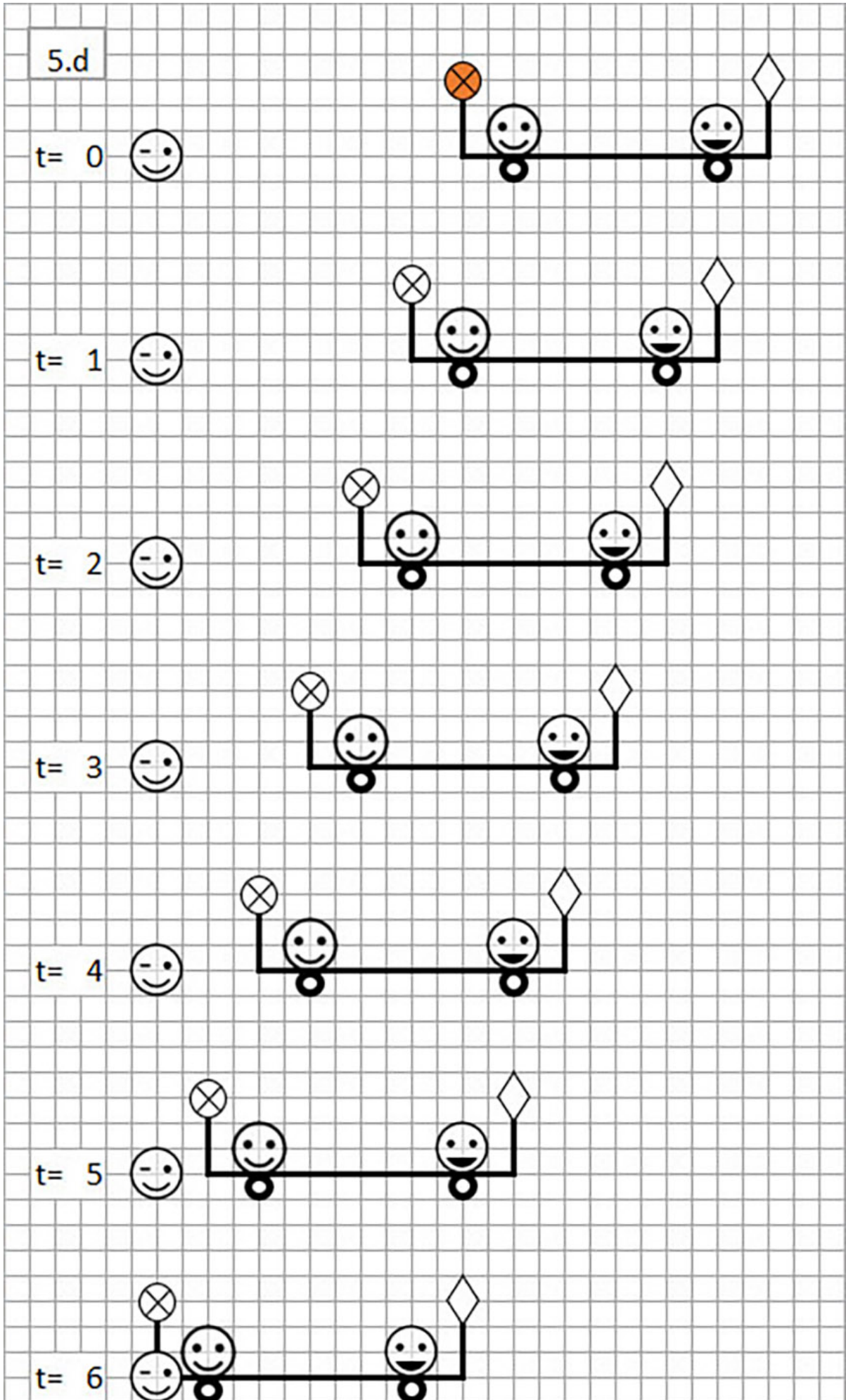
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Kunnen we een algemeen voortplantingsmodel voor licht maken?

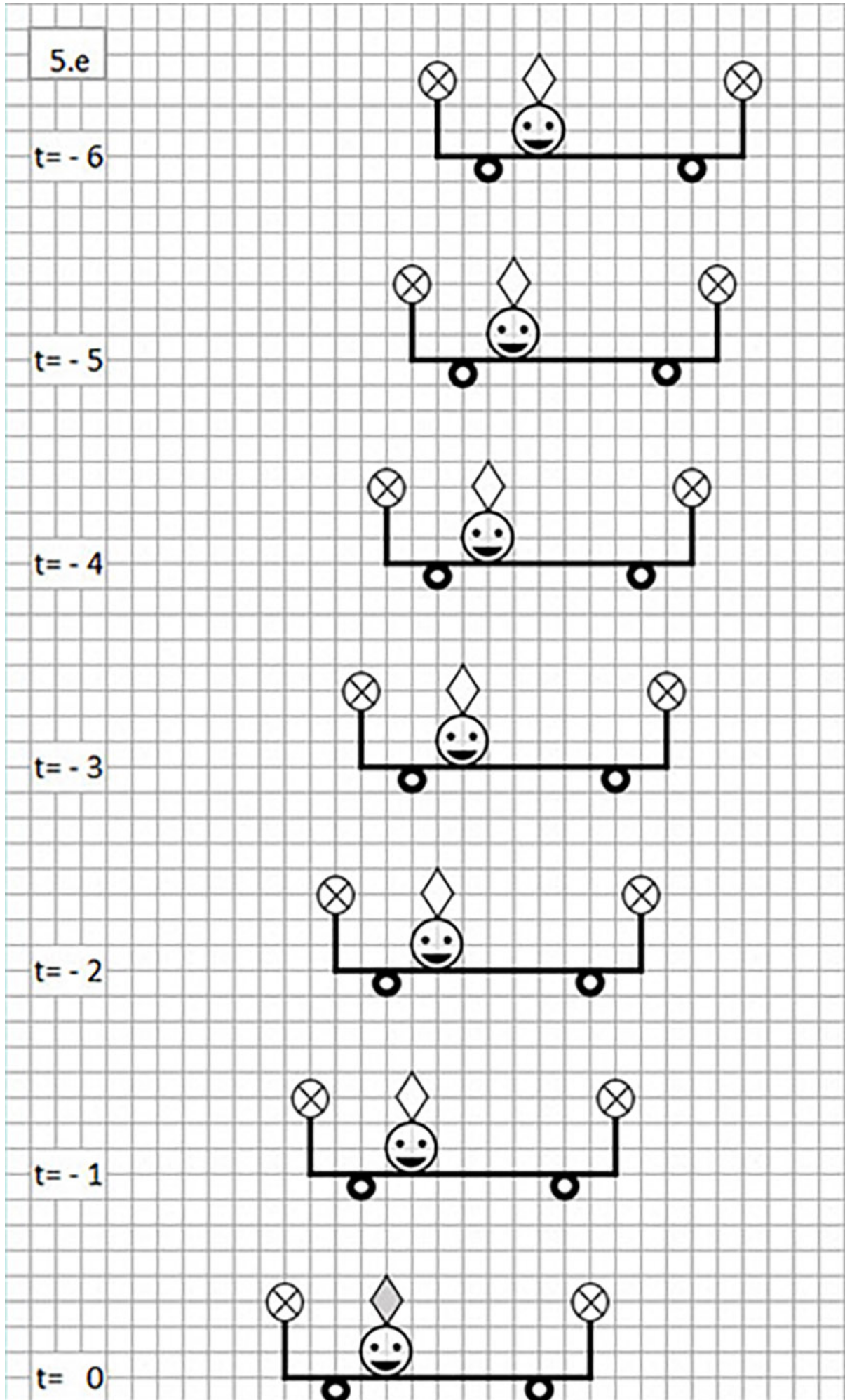


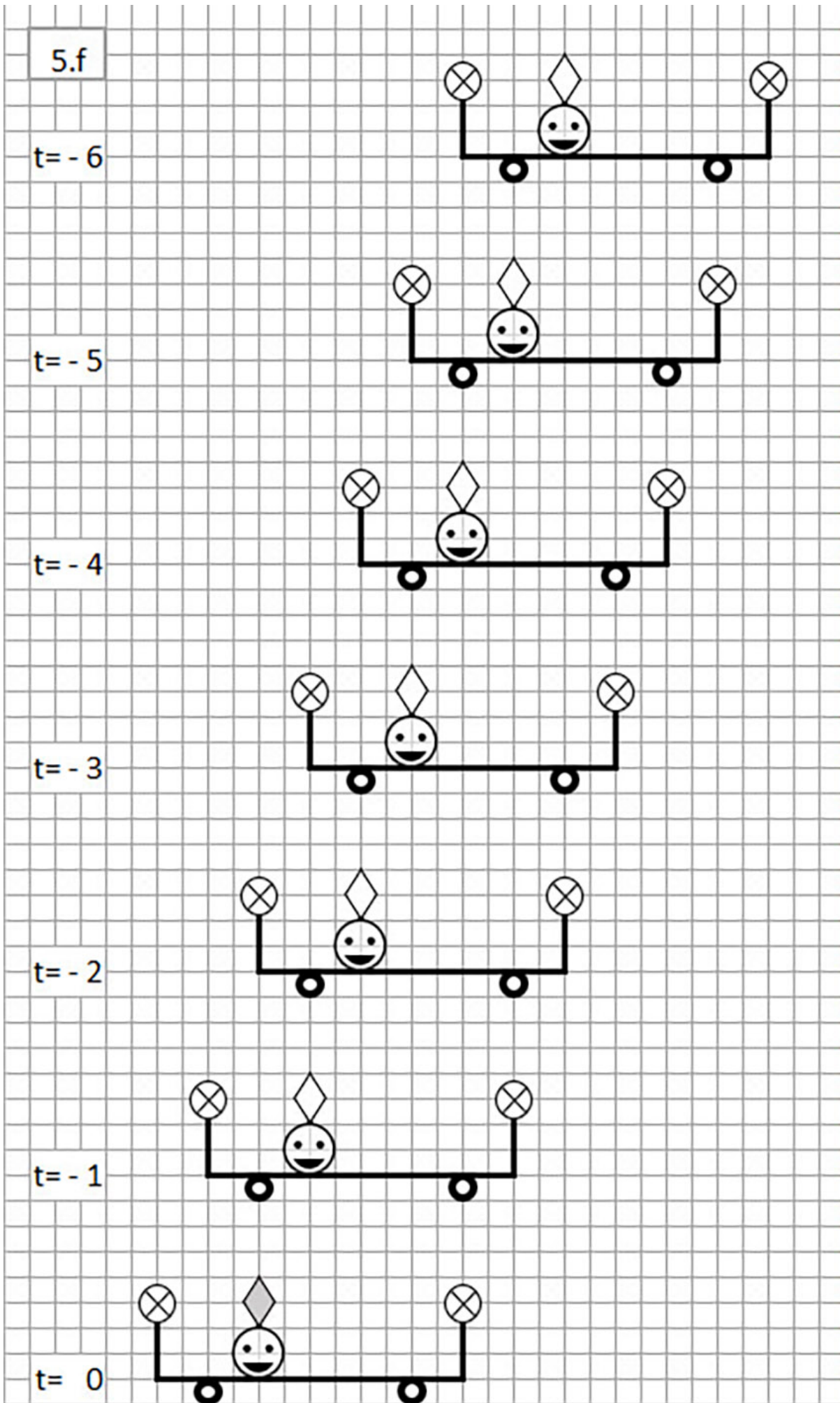


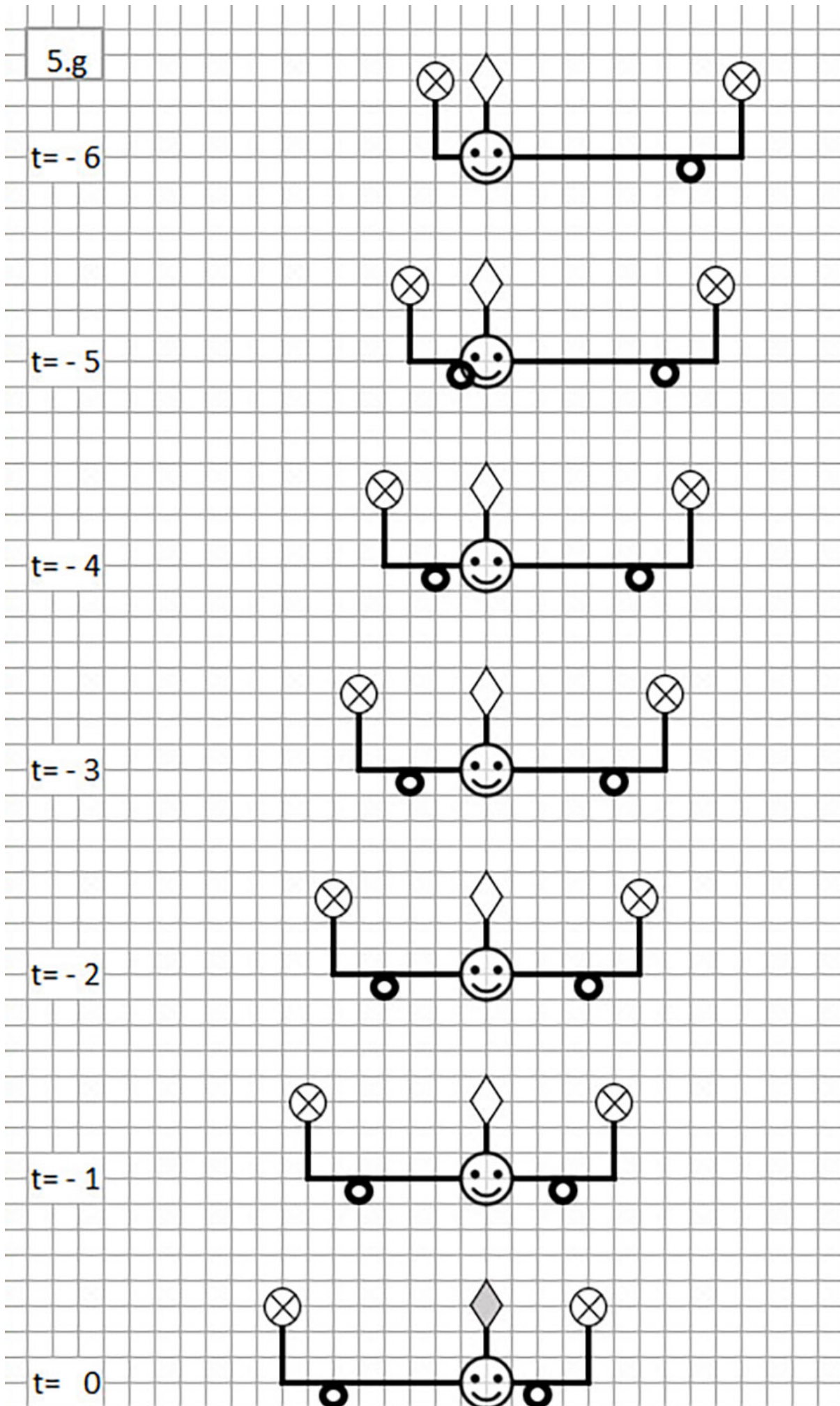


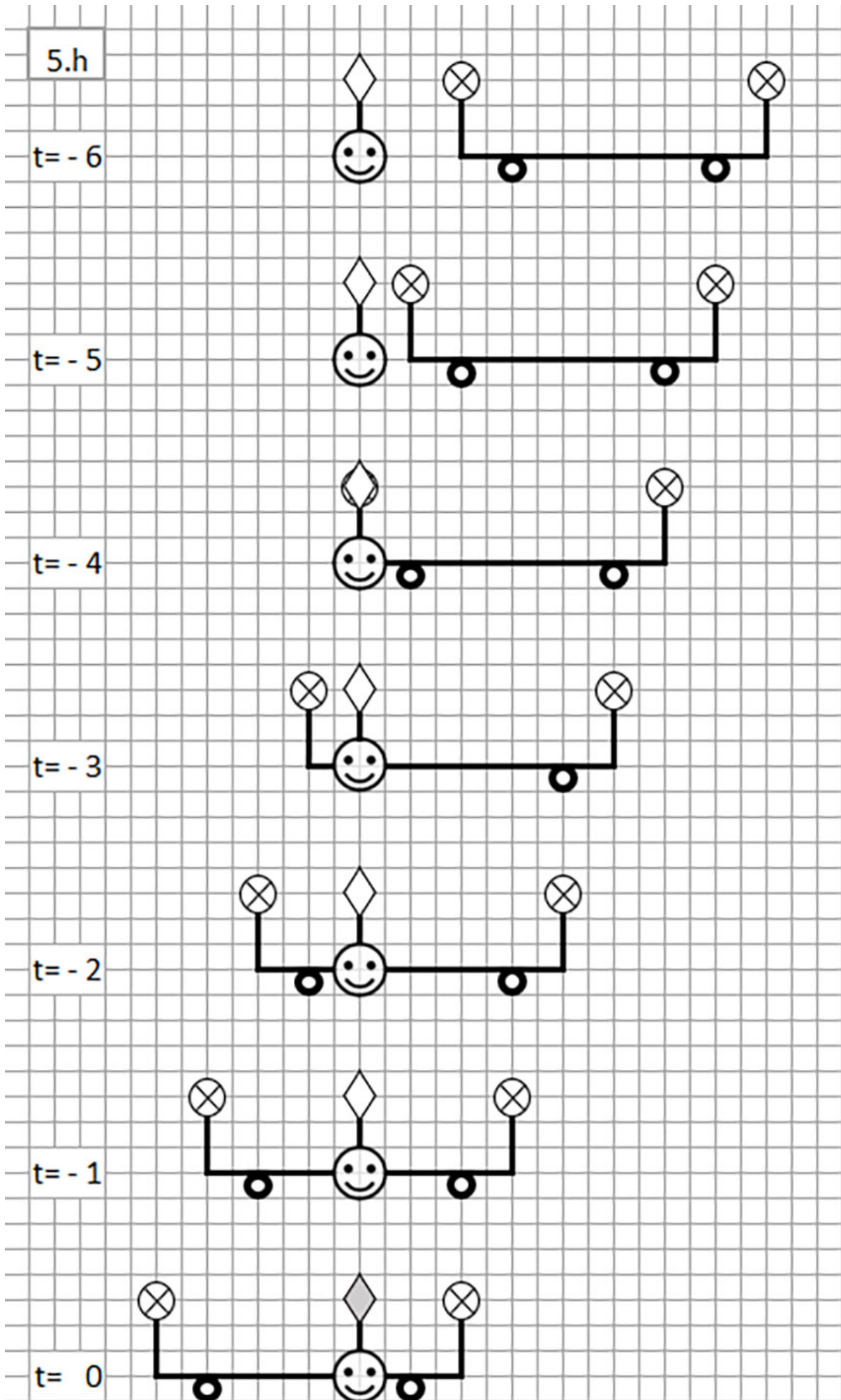












## 6. Wat zijn de gevolgen voor plaats en tijd van het lichtpostulaat?

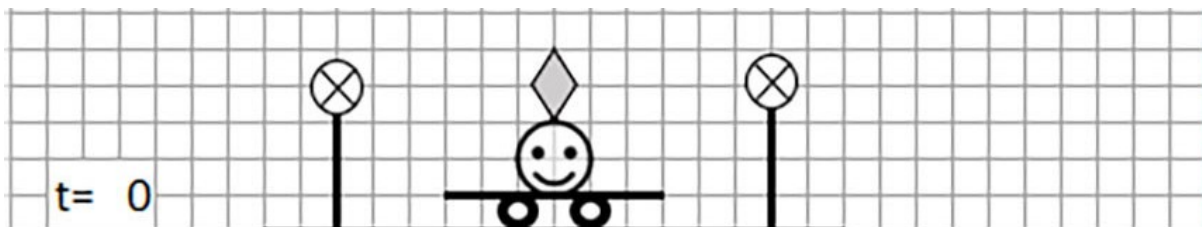
### Doel

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?

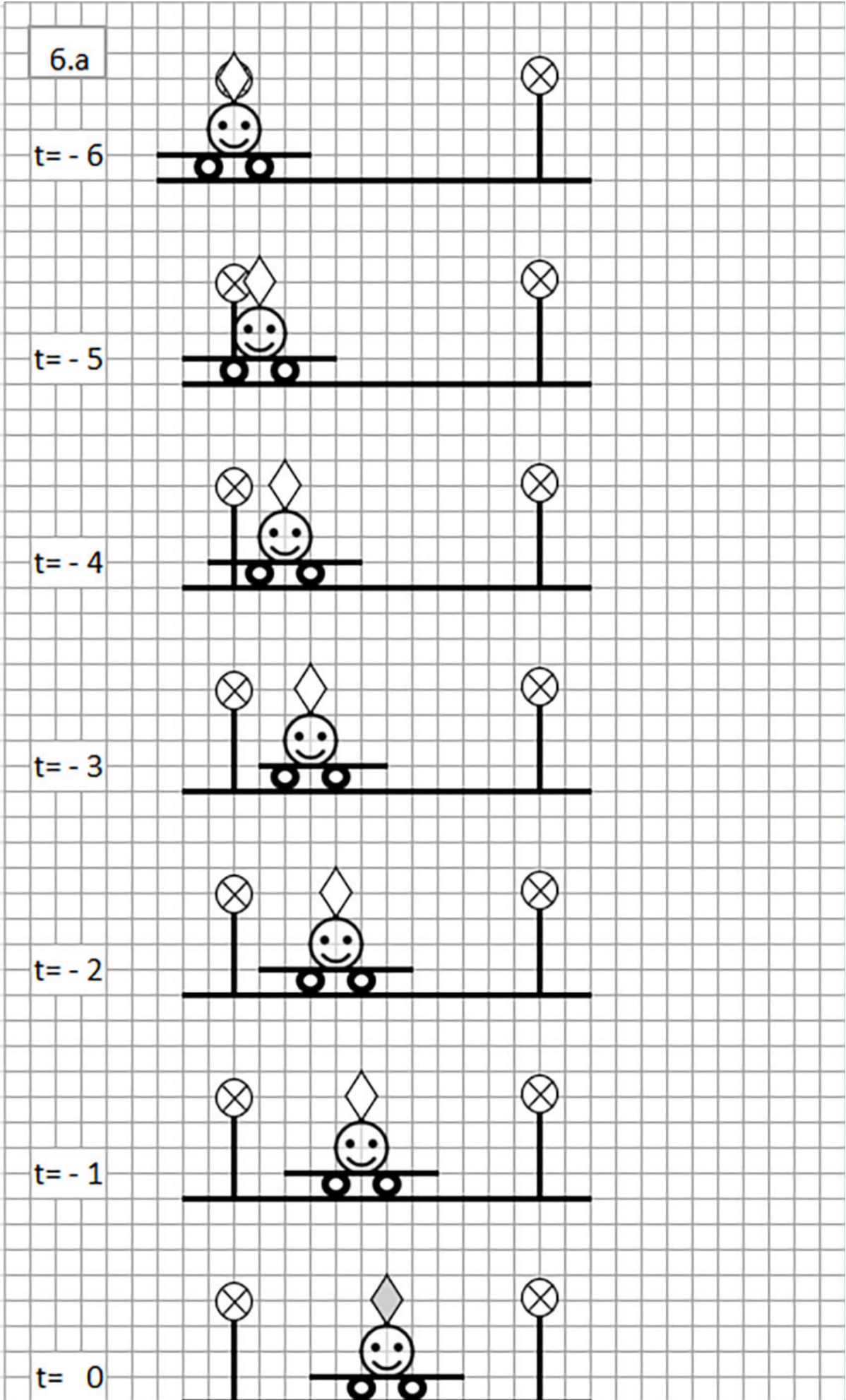
**Opdracht 6.3: Verwerkingsopdracht**

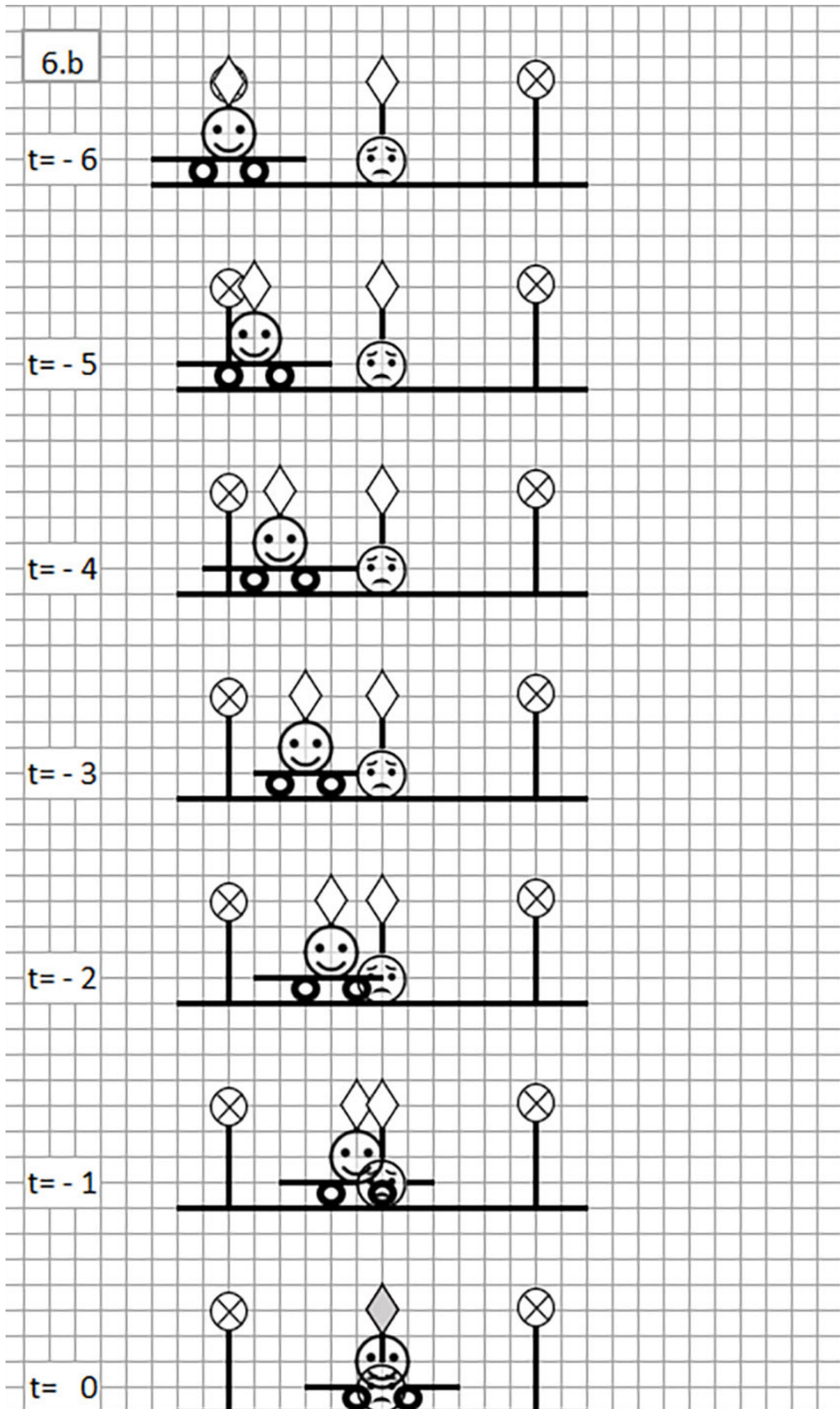
Gebruik bij deze opdracht diagram 6.c t/m 6.g

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.

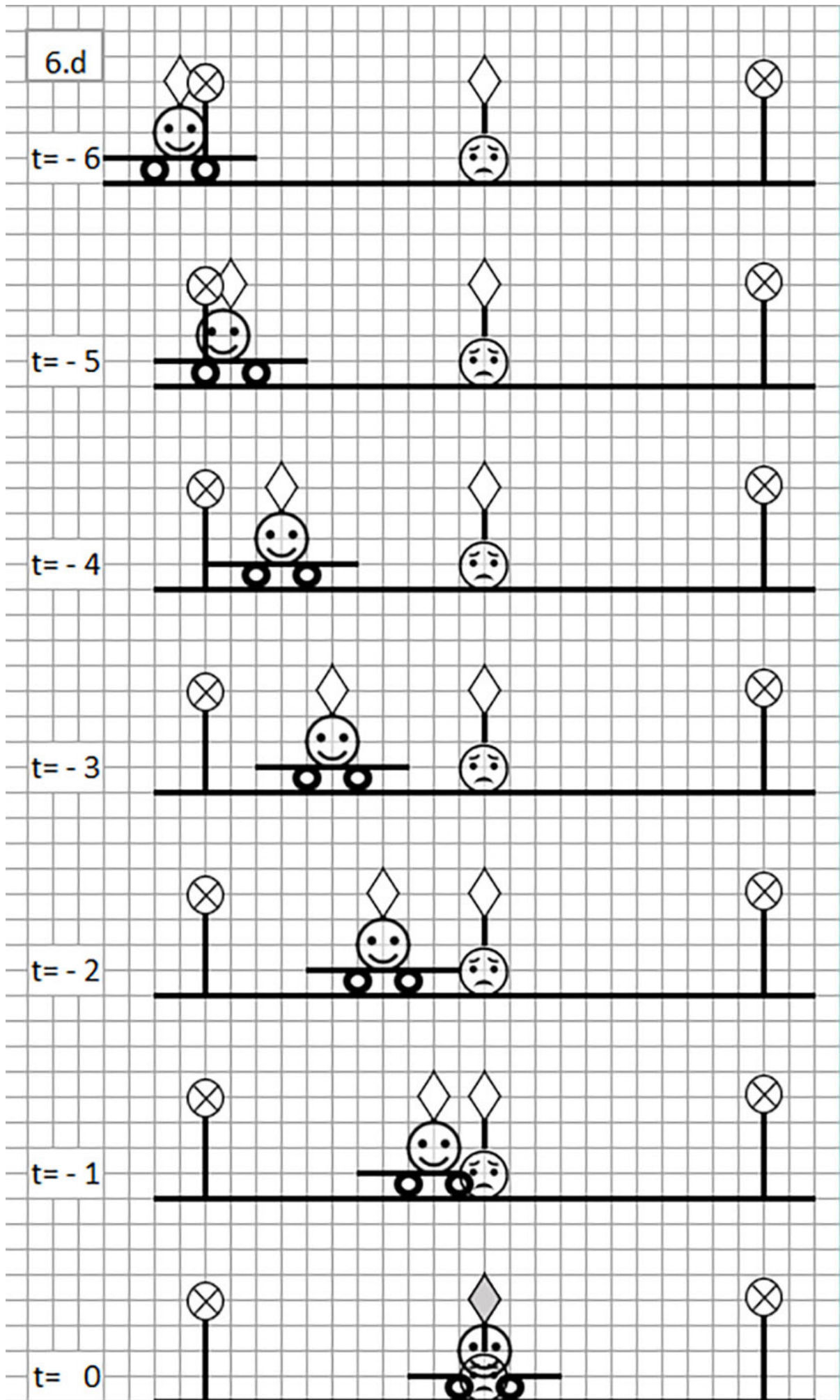
**Opdracht 6.4: Beantwoorden lesvraag**

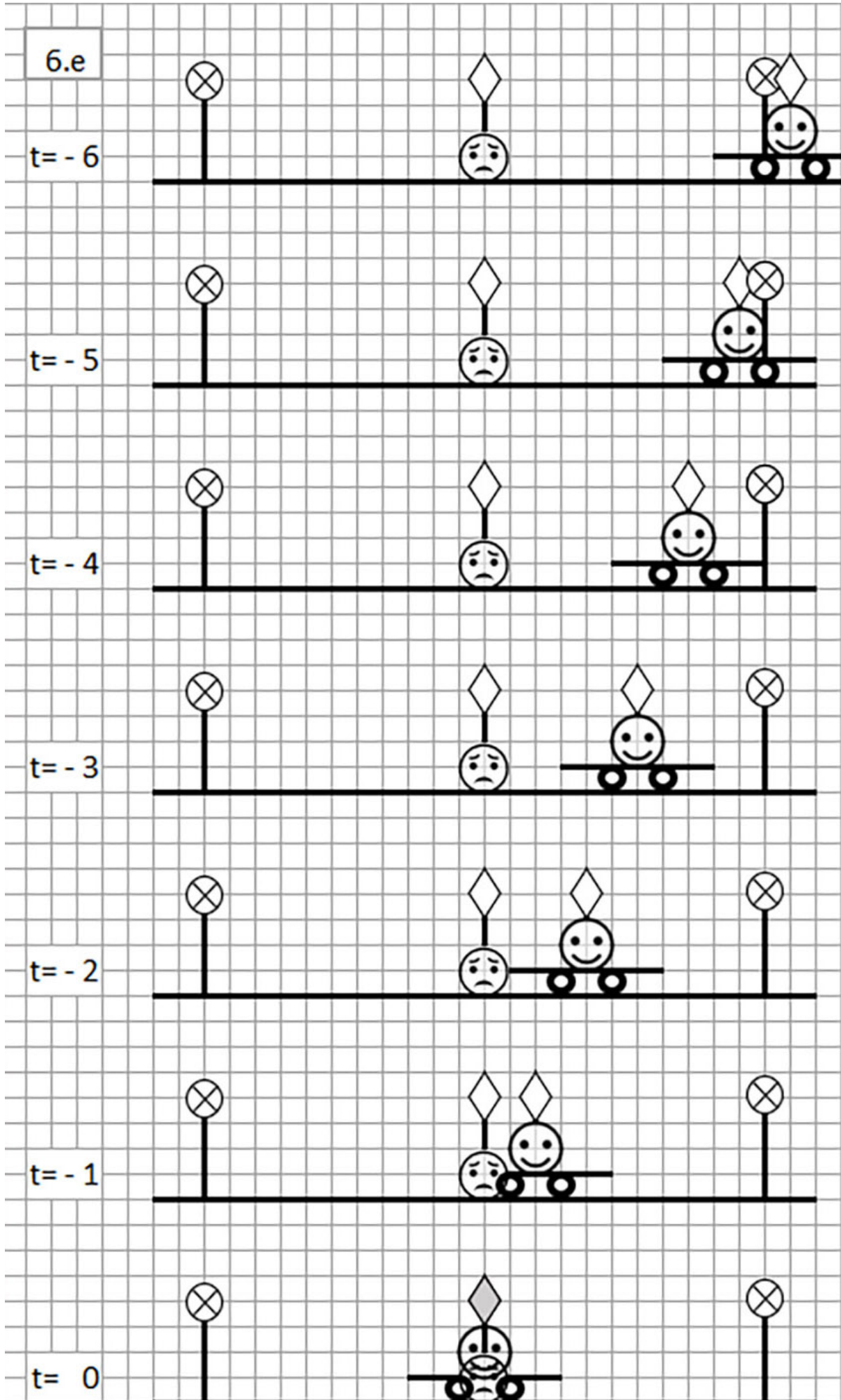
1. Geef een antwoord op de lesvraag: Wat zijn de gevolgen voor plaats en tijd van het lichtpostulaat?

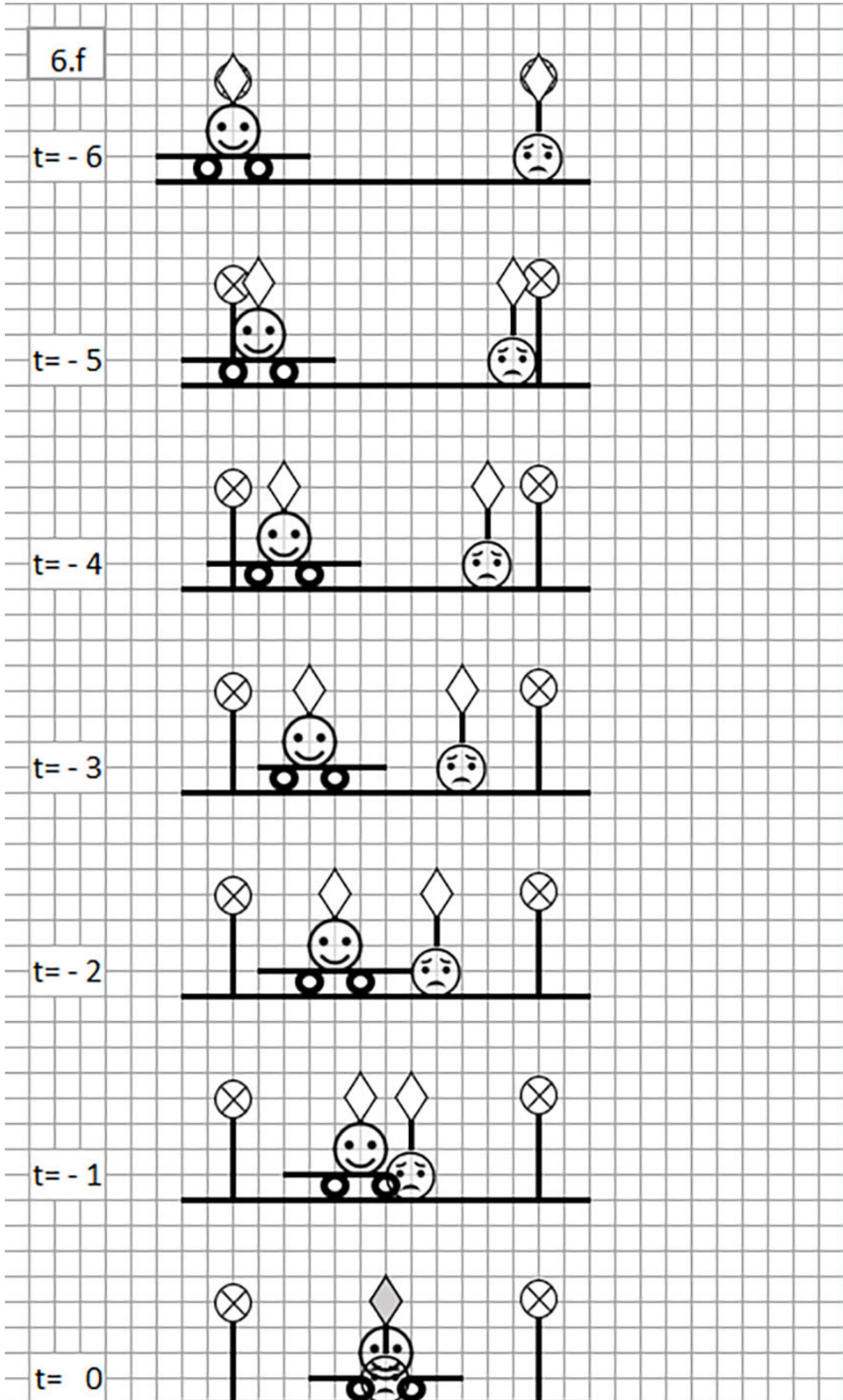


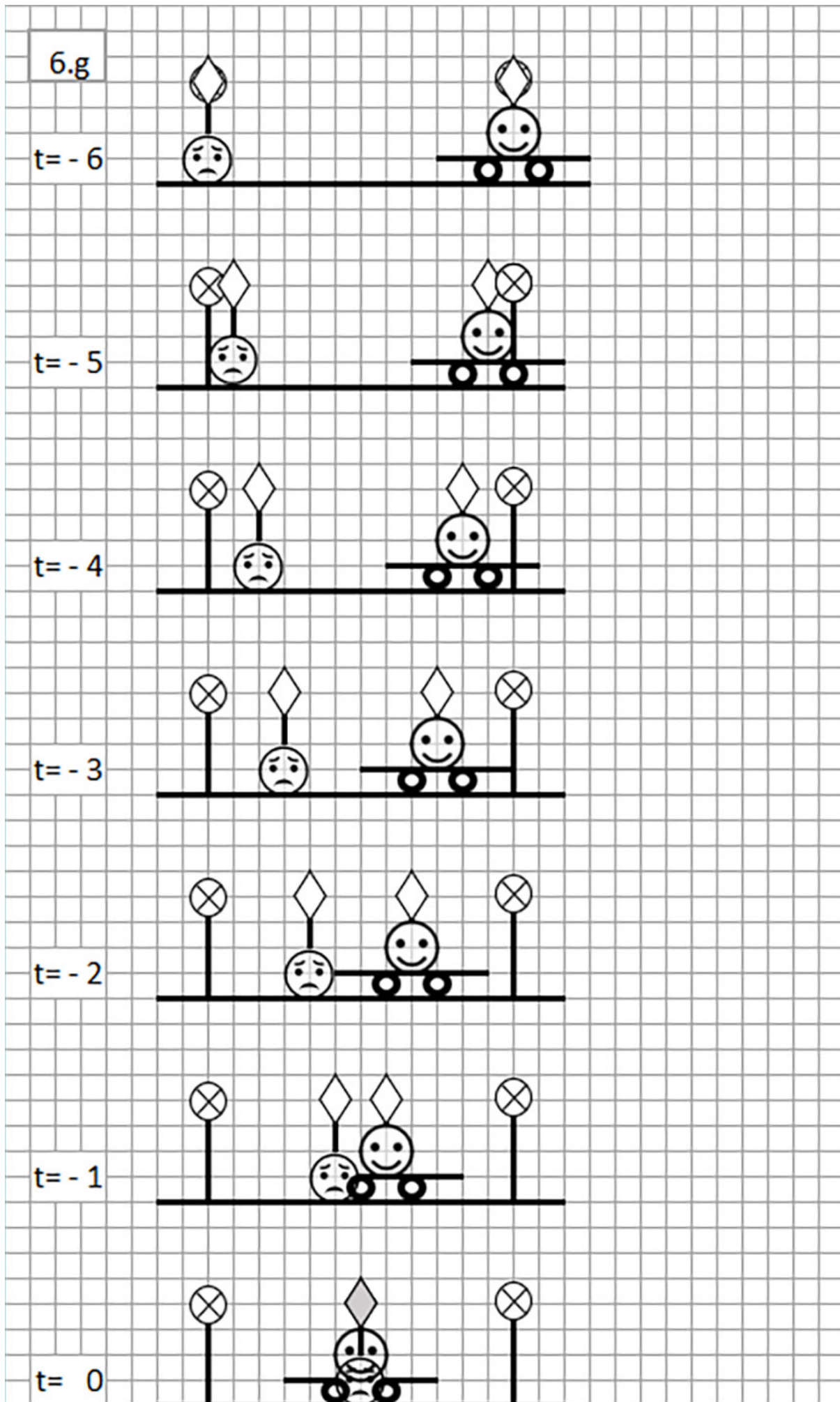
















## 7. Wat is er aan de hand met tijdsduur?

### 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.

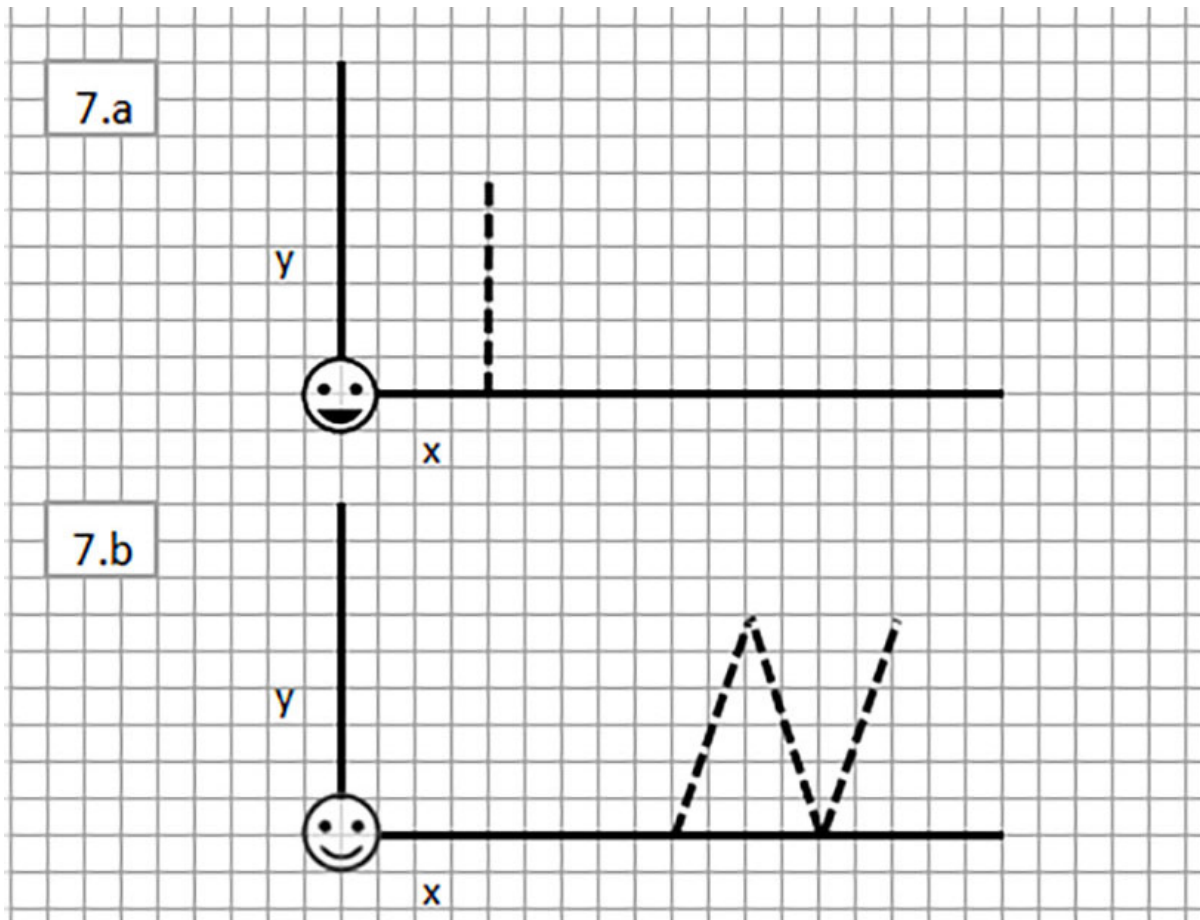
*Diagram 7.b is weergegeven vanuit de onderzoeker (B) die naar bewegende spiegels kijkt.*

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**

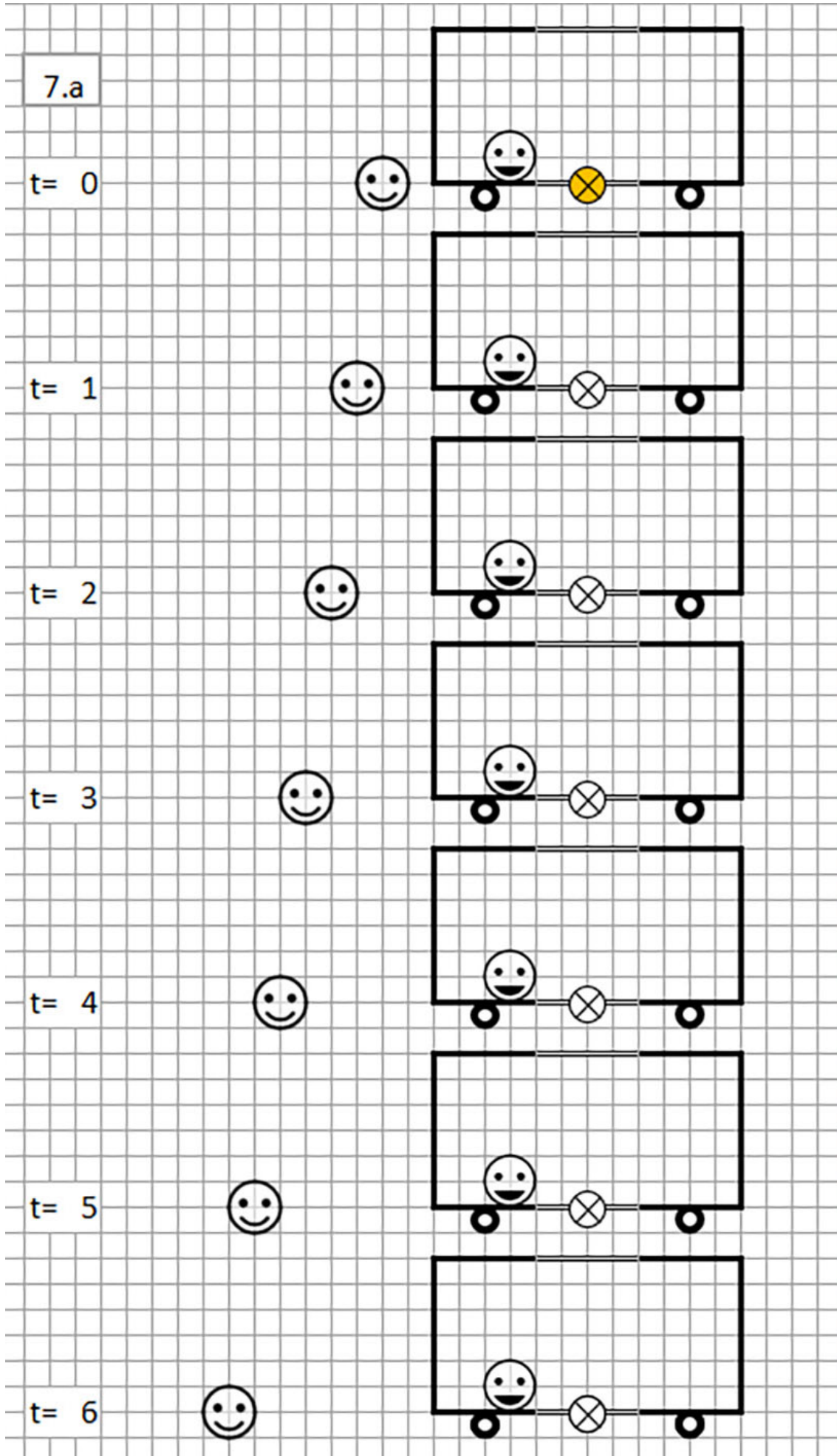
1. Hoe veranderen de verhoudingen van de tijdsduur als de relatieve snelheid tussen A en B verandert (toeneemt, afneemt)?
2. Hoe veranderen de verhoudingen van de tijdsduur als het karretje de andere kant op rijdt?

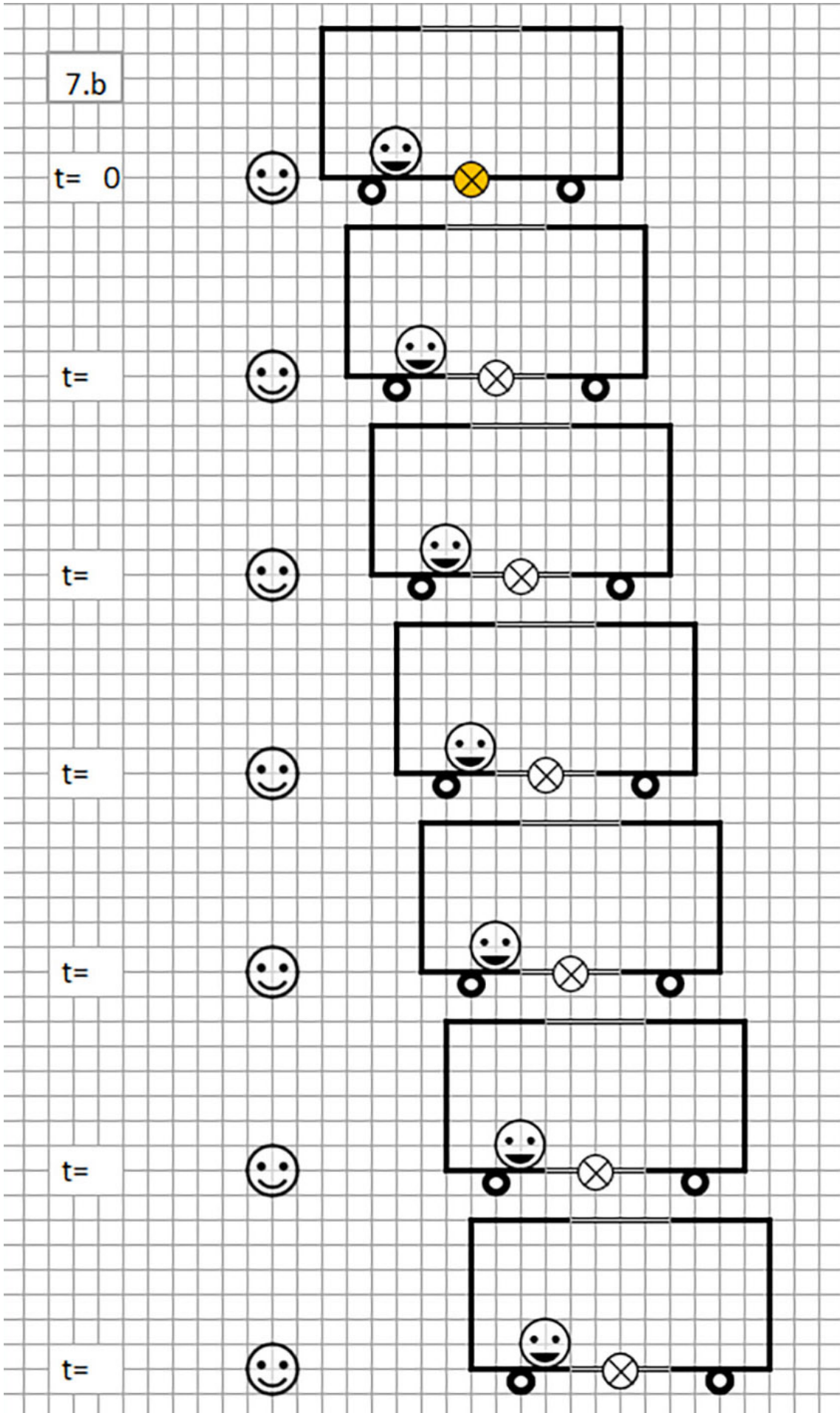
**Opdracht 7.5: Samenvatting**

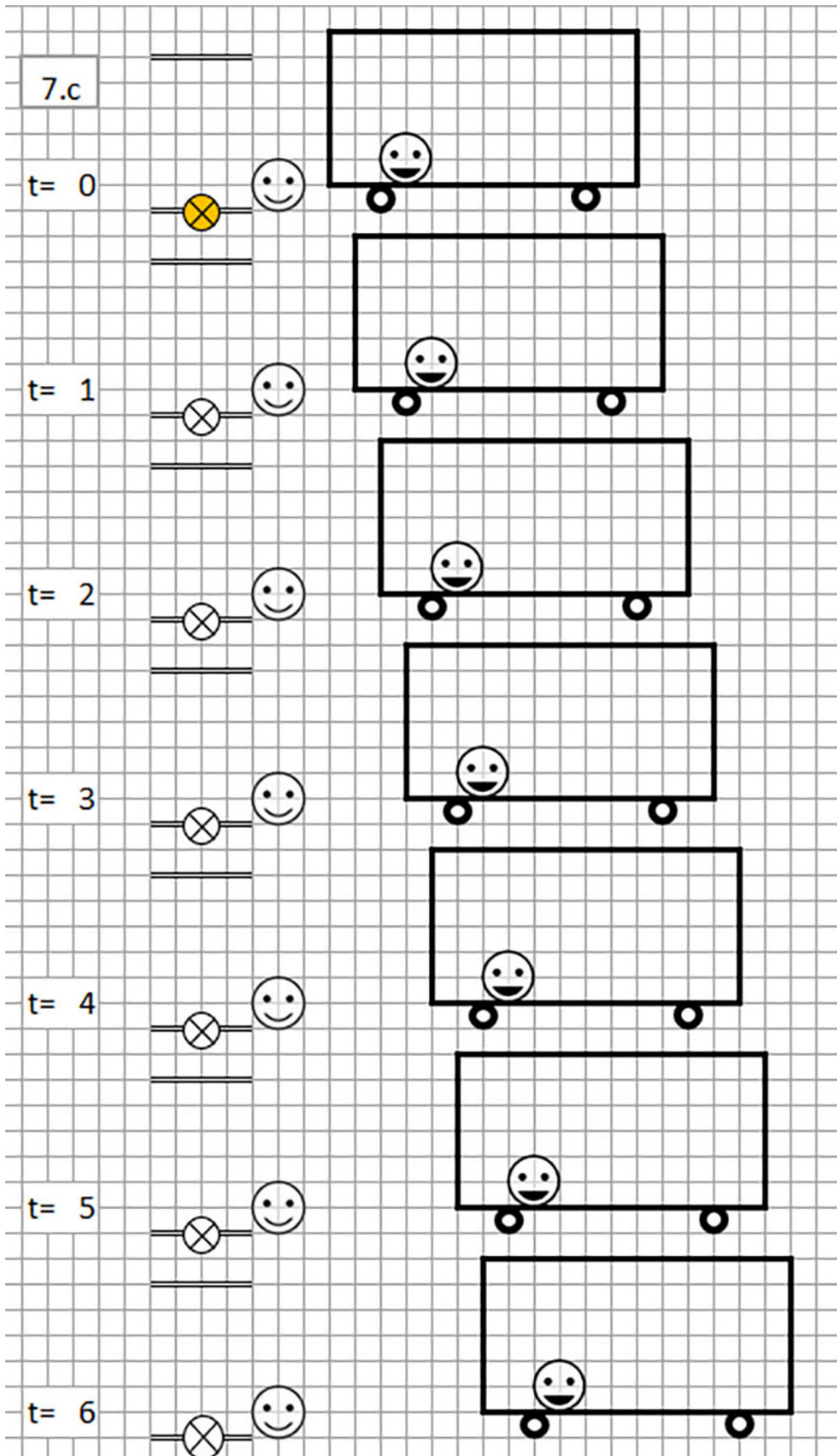
1. Wat hebben onderzoeker A in 7.a en 7.b en onderzoeker B in 7.c en 7.d met elkaar gemeen?
2. Wat hebben onderzoeker B in 7.a en 7.b en onderzoeker B in 7.c en 7.d met elkaar gemeen?
3. Hoe kunnen we in het algemeen de onderzoeker beschrijven die het kleinste tijdinterval meet?
4. Hoe kunnen we in het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

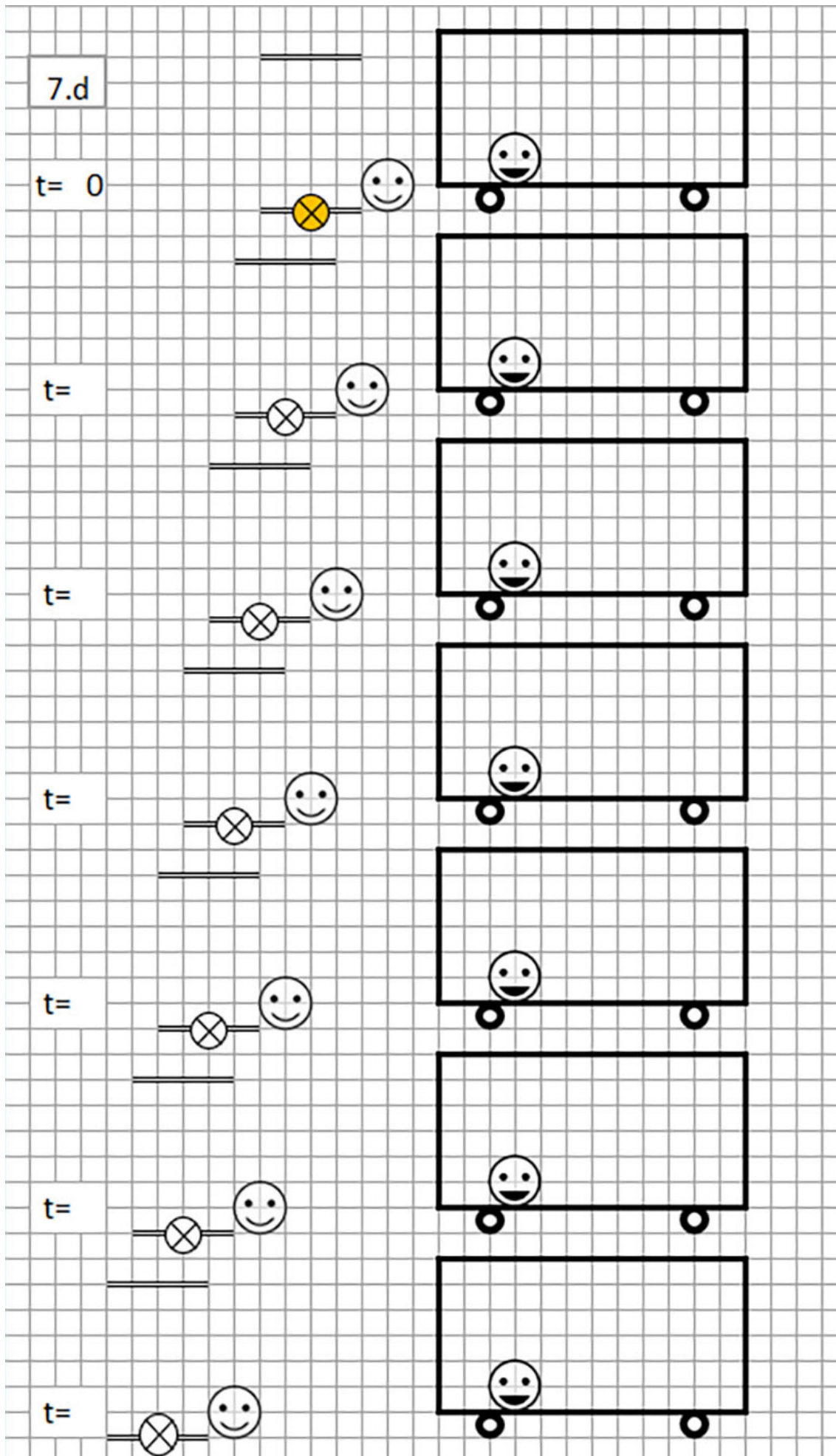
**Opdracht 7.6: Beantwoorden lesvraag**

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





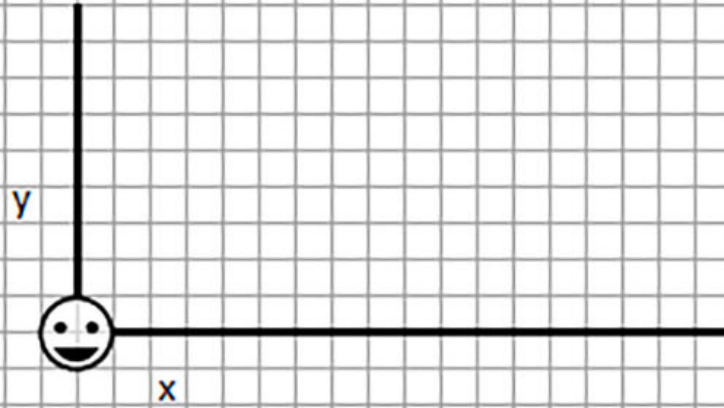




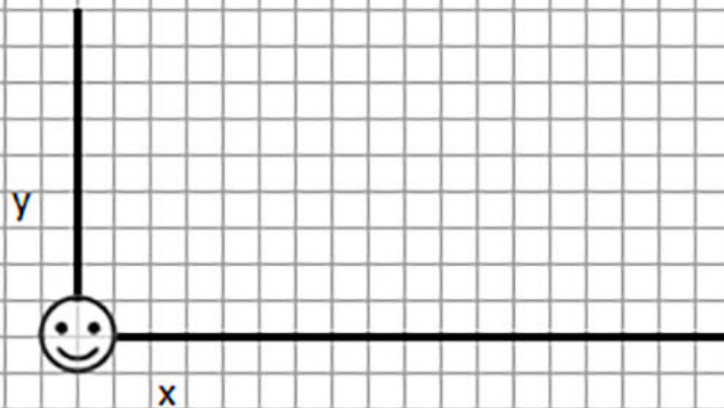


# x,y-diagrammen

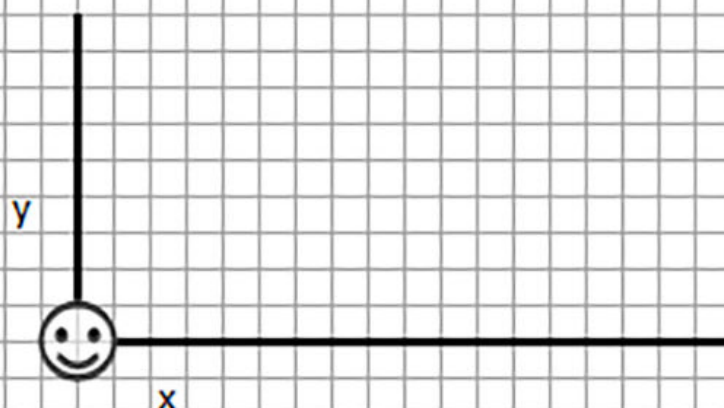
7.a



7.b



7.c



7.d

