



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.

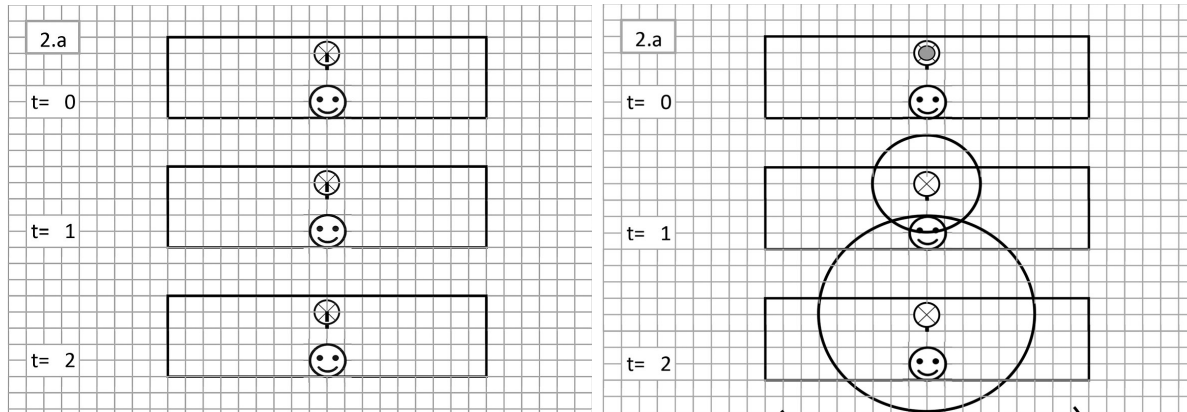
1. Bepaal bij alle diagrammen (2.a, 2.b en 2.c) op welk tijdstip het licht bij de muren van de kamer aankomt.

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.

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

Opdracht 2.3: Reflectieopdracht

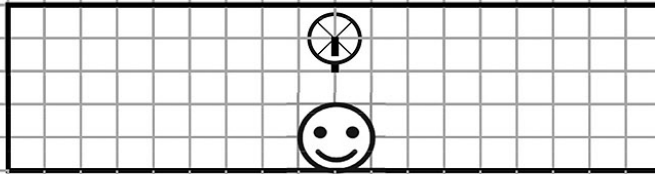
4. Hoe heb je zelf een constante snelheid toegepast in opdracht 2.2?
5. Hoe hebben anderen dat gedaan?
6. Wat is het verschil tussen de verschillende manieren van een constante snelheid toepassen?

Opdracht 2.4: Beantwoorden lesvraag

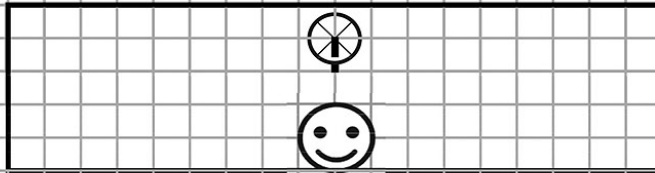
7. Geef een antwoord op de lesvraag: Hoe beweegt licht?

2.a

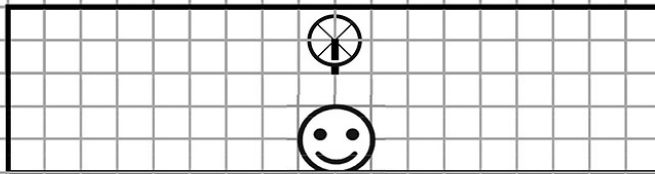
t= 0



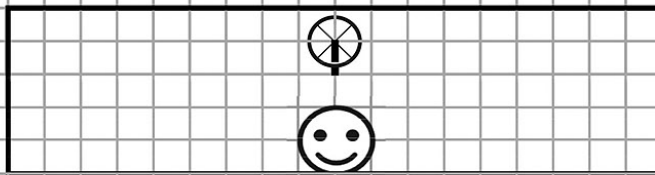
t= 1



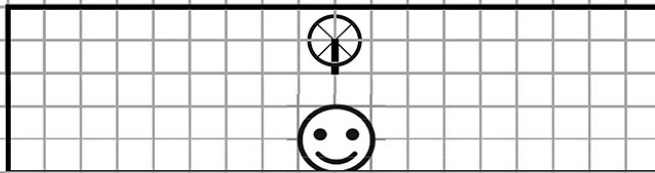
t= 2



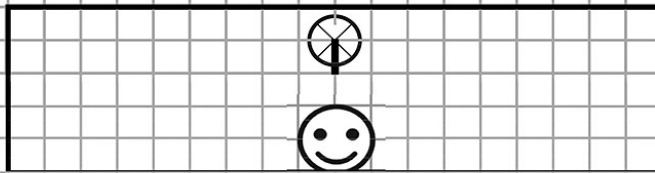
t= 3



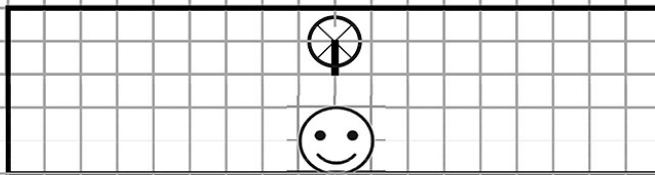
t= 4



t= 5



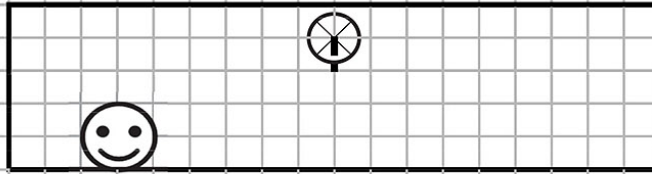
t= 6



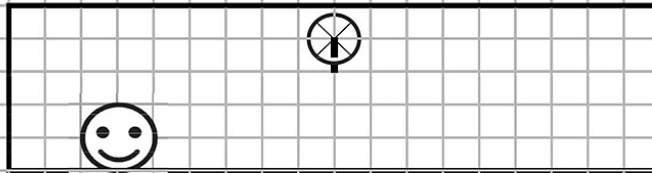


2.b

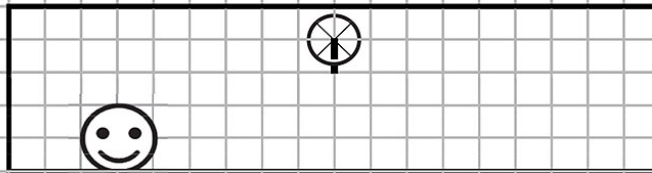
t= 0



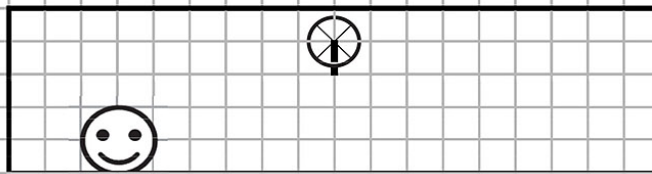
t= 1



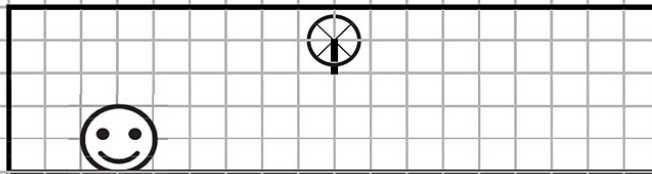
t= 2



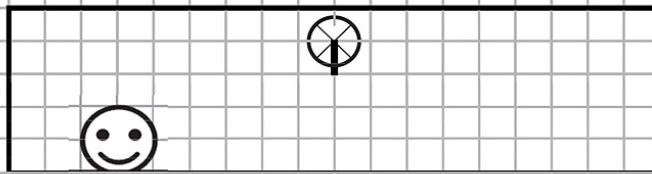
t= 3



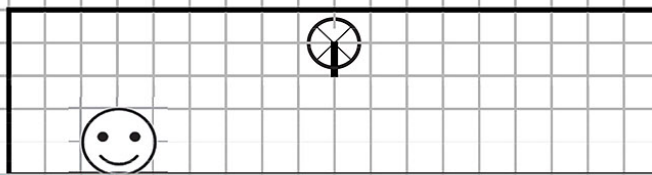
t= 4



t= 5



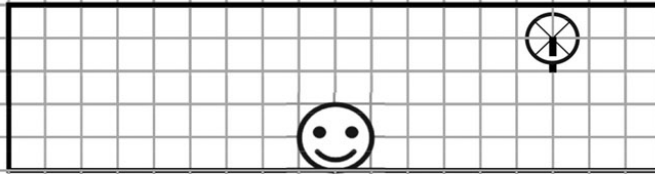
t= 6



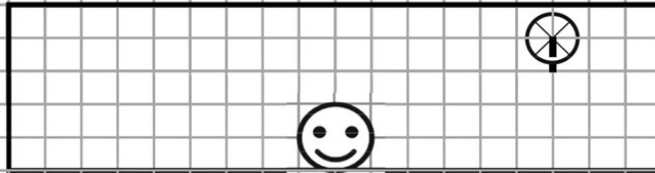


2.c

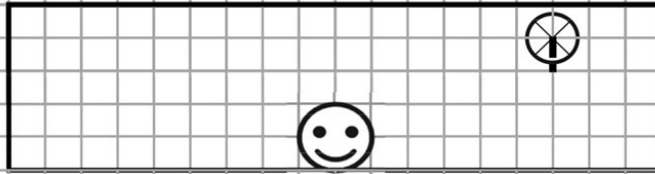
t= 0



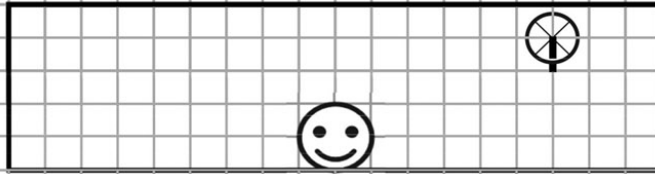
t= 1



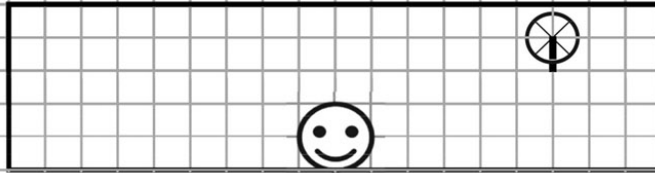
t= 2



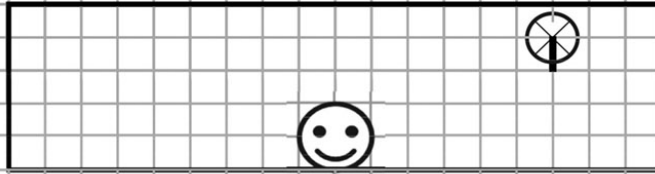
t= 3



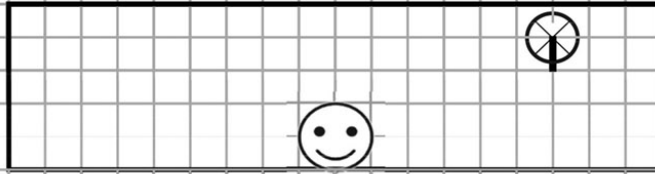
t= 4

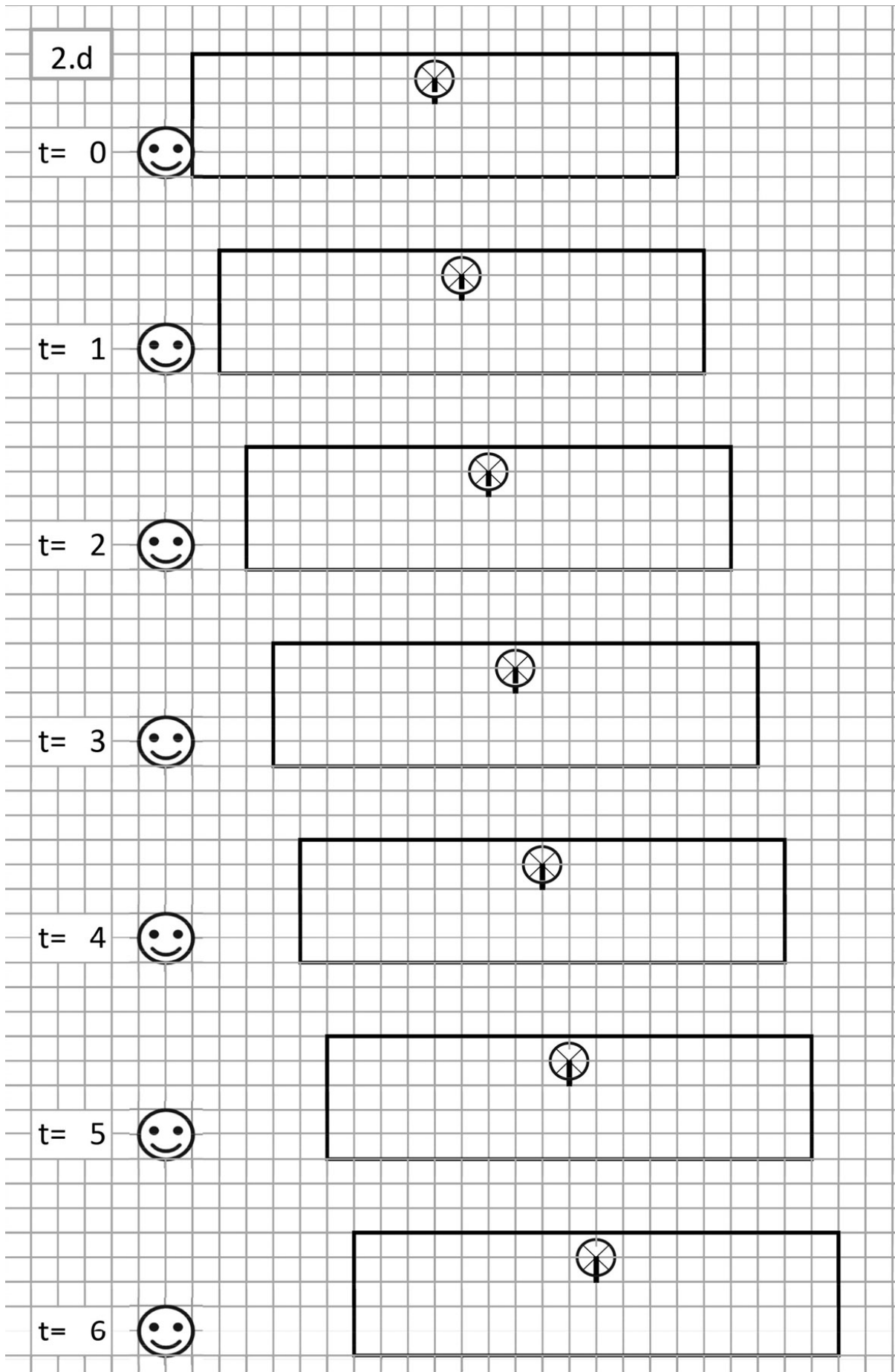


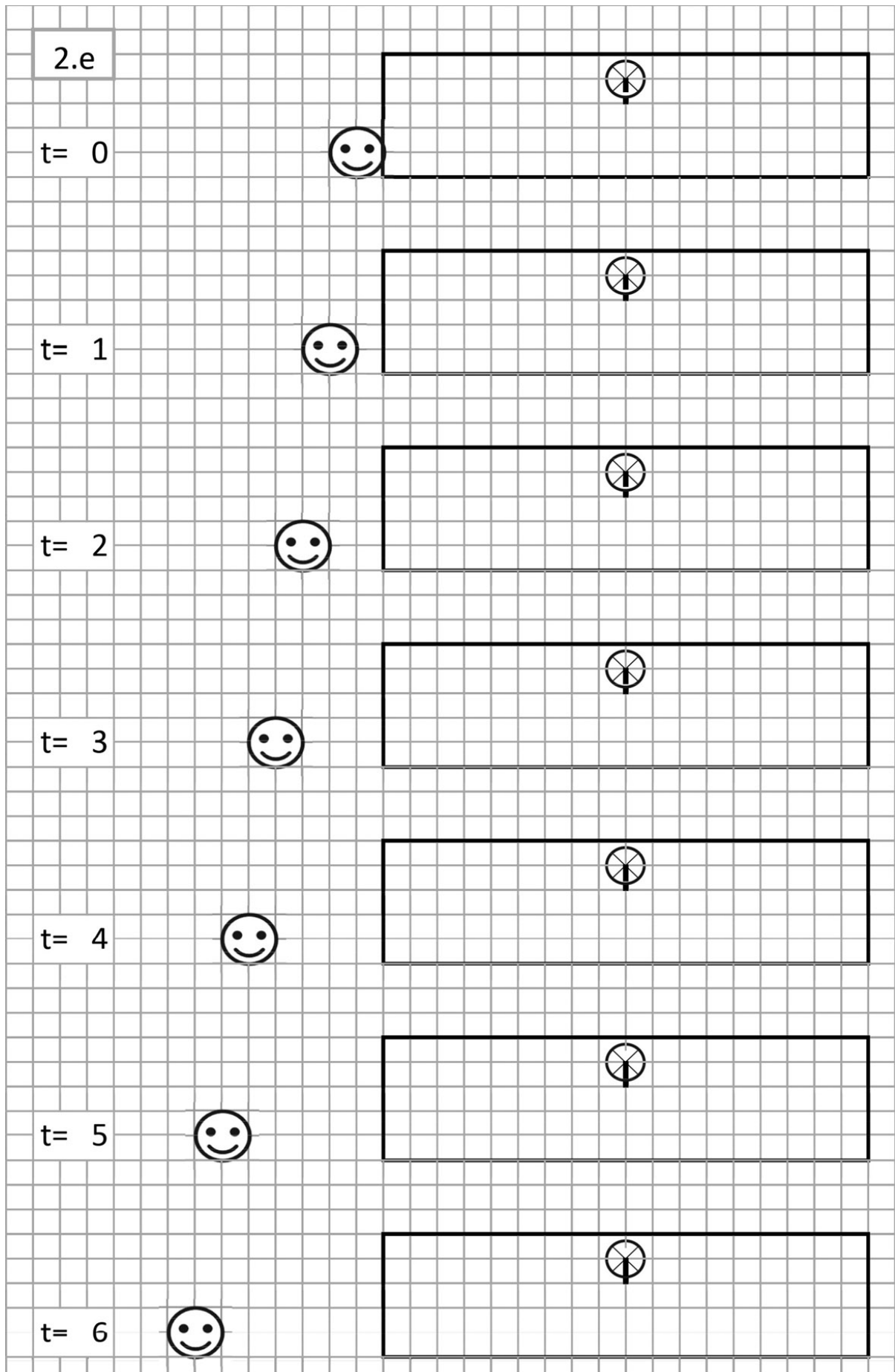
t= 5



t= 6

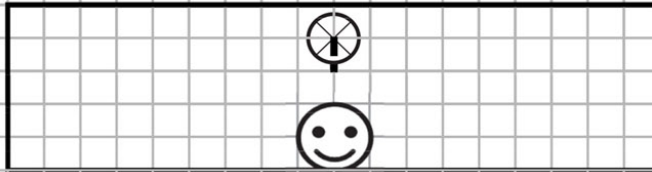




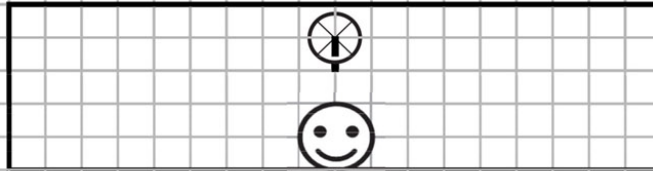


2.f

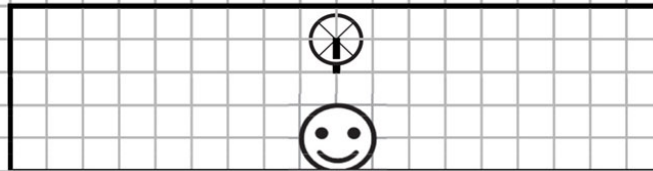
t= 0



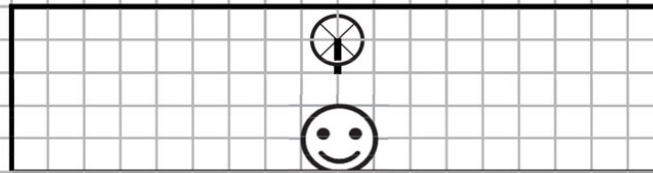
t= 1



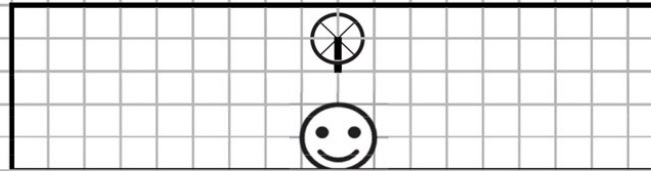
t= 2



t= 3



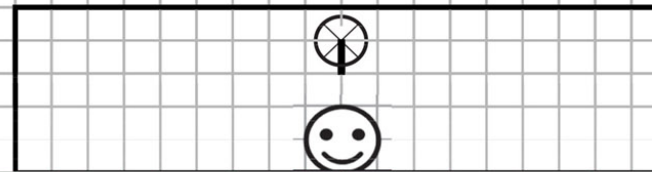
t= 4

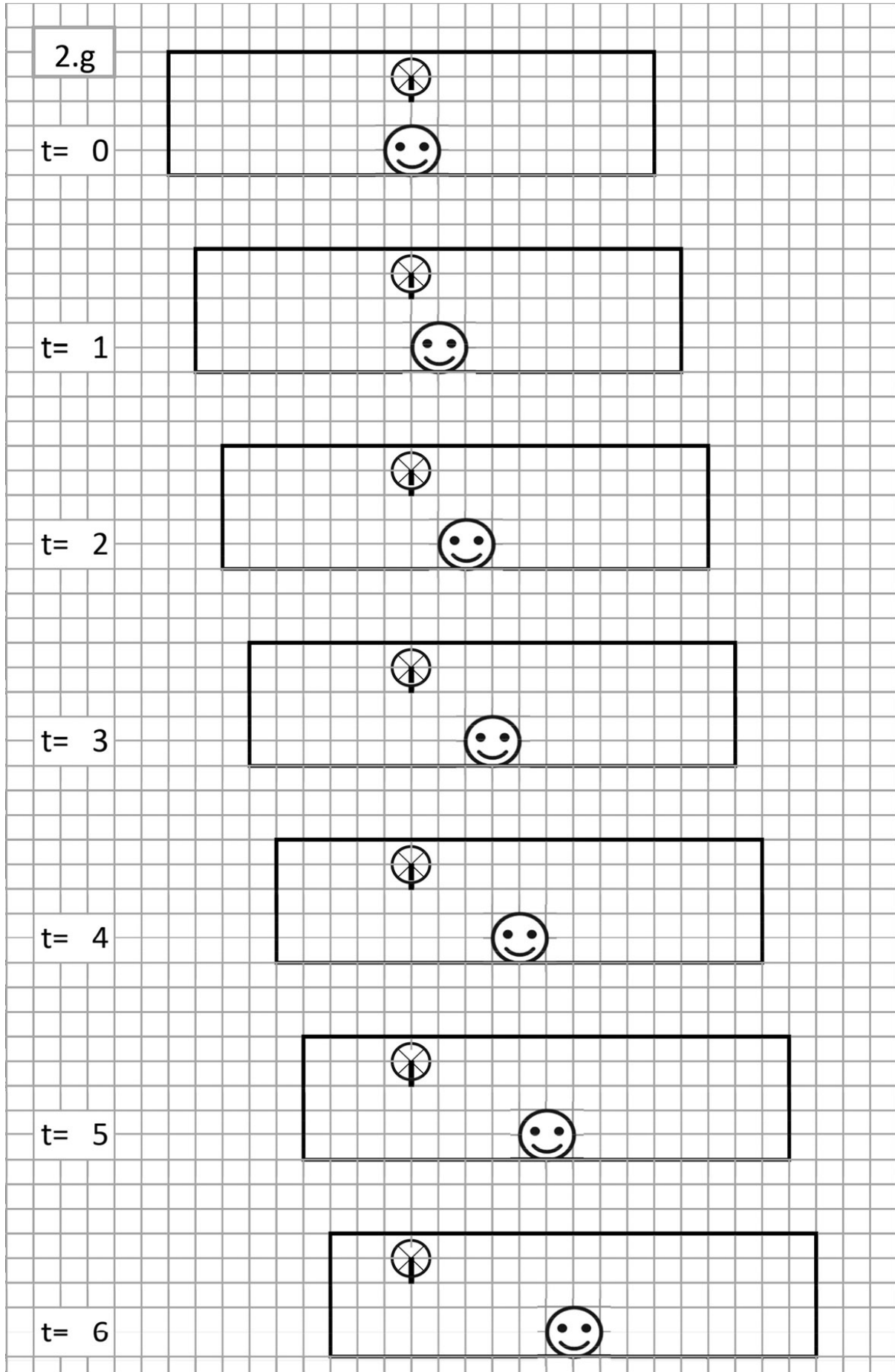


t= 5



t= 6







3. Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

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)

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

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

11. Bepaal hoeveel tijdstappen terug het licht is uitgezonden door de lampen als je tekenregel 1 gebruikt.
12. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
13. 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).

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

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

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

Opdracht 3.3: Redeneeropdracht - Interpretieren

Vragen bij diagram 3.a

20. 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.
21. 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

22. 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.
23. 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.

24. 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.

25. Kunnen beide voorspellingen juist zijn? Leg je antwoord uit.
26. 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.

- 27. Herhaal opdracht 3.1 en 3.2 bij de nieuwe diagrammen.
- 28. Wat is het verschil in de uitkomst?
- 29. 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)

- 30. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 1 gebruikt.
- 31. Bepaal de snelheid van de lichtflits
- 32. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal



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

- 33. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 1 gebruikt.
- 34. Bepaal de snelheid van de lichtflits
- 35. 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)

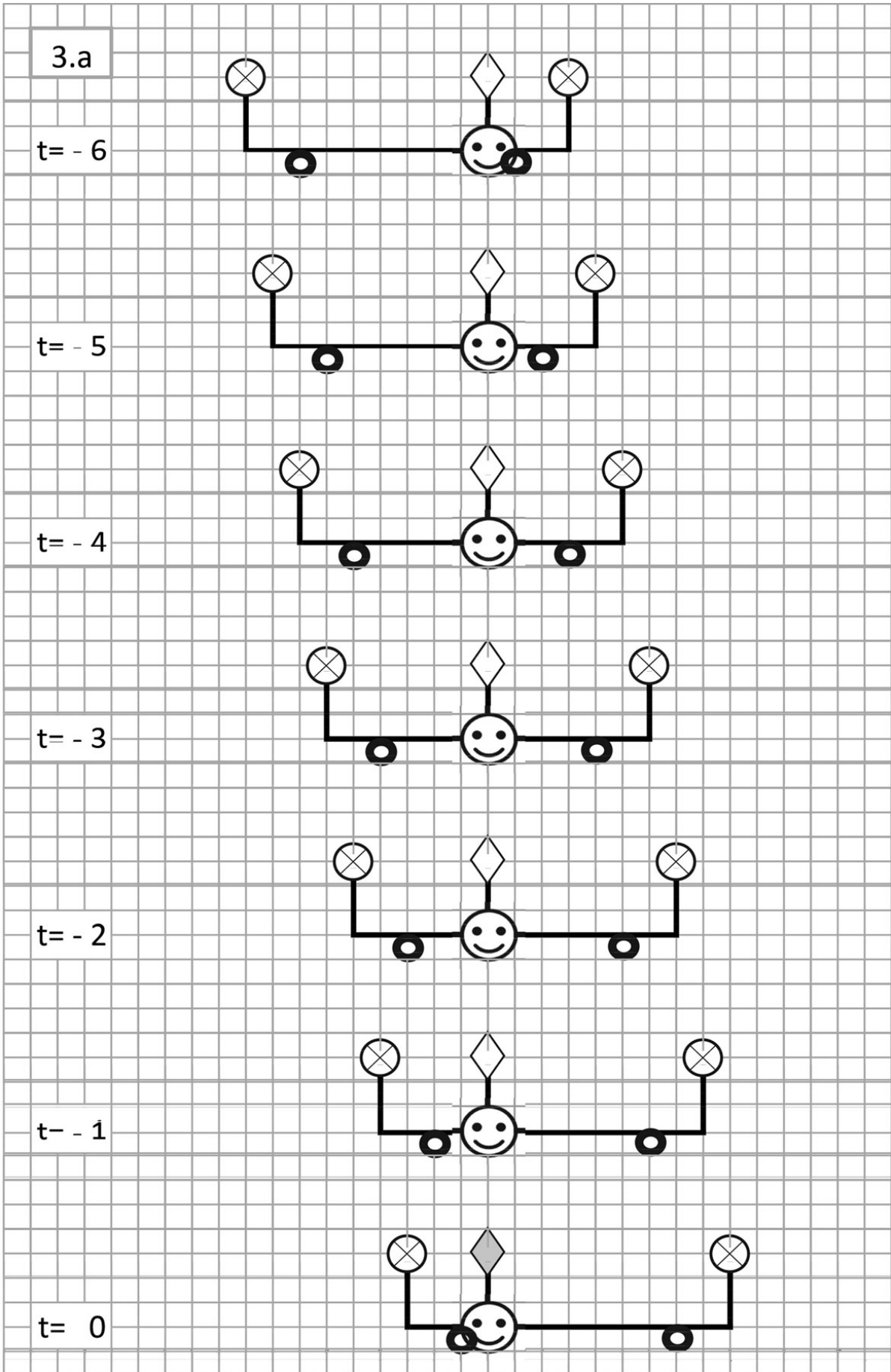
- 36. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 2 gebruikt.
- 37. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
- 38. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

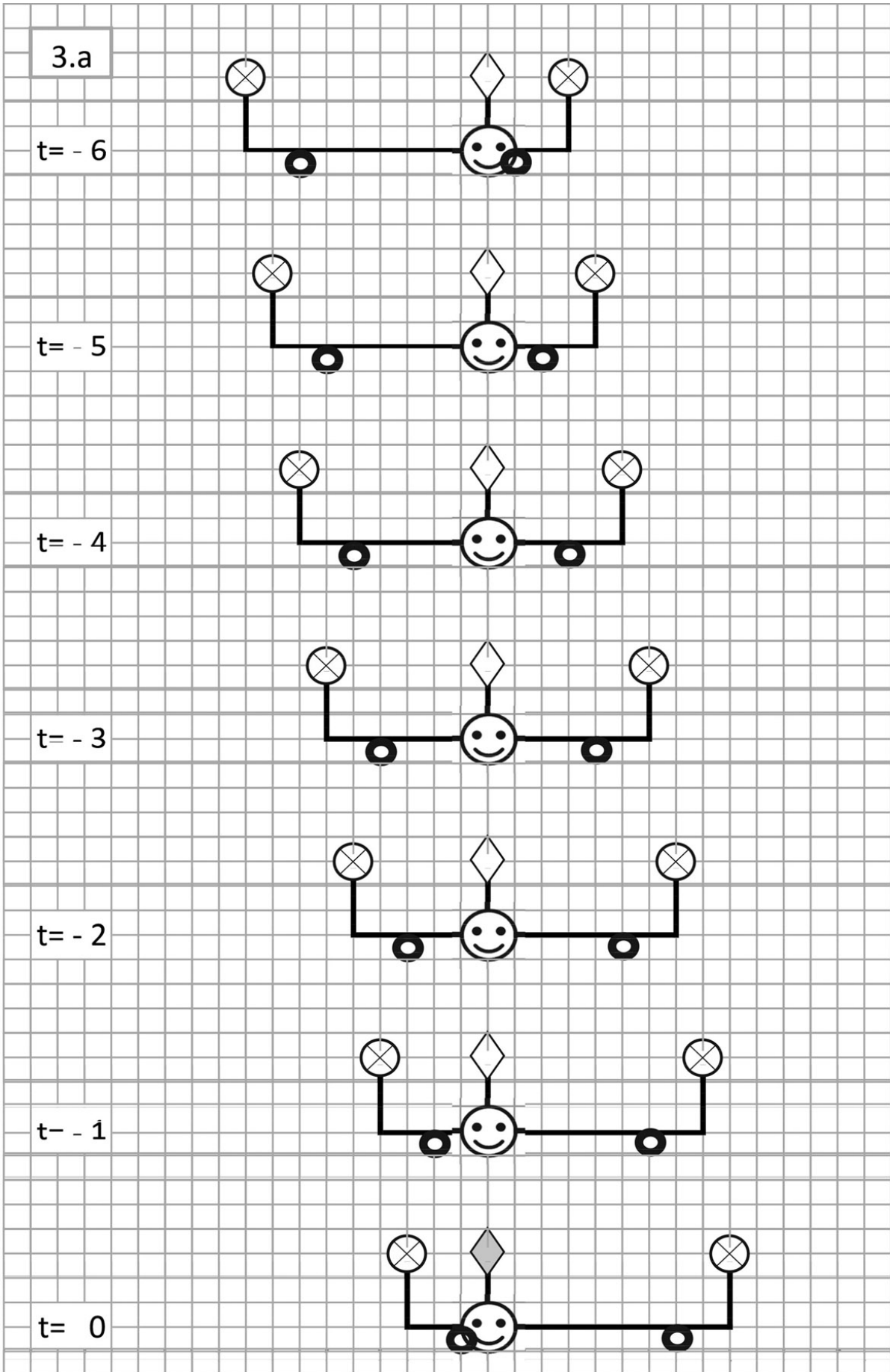
Inertiaalstelsel van de onderzoeker die met de lichtbron meebeweegt (diagram 3.f)

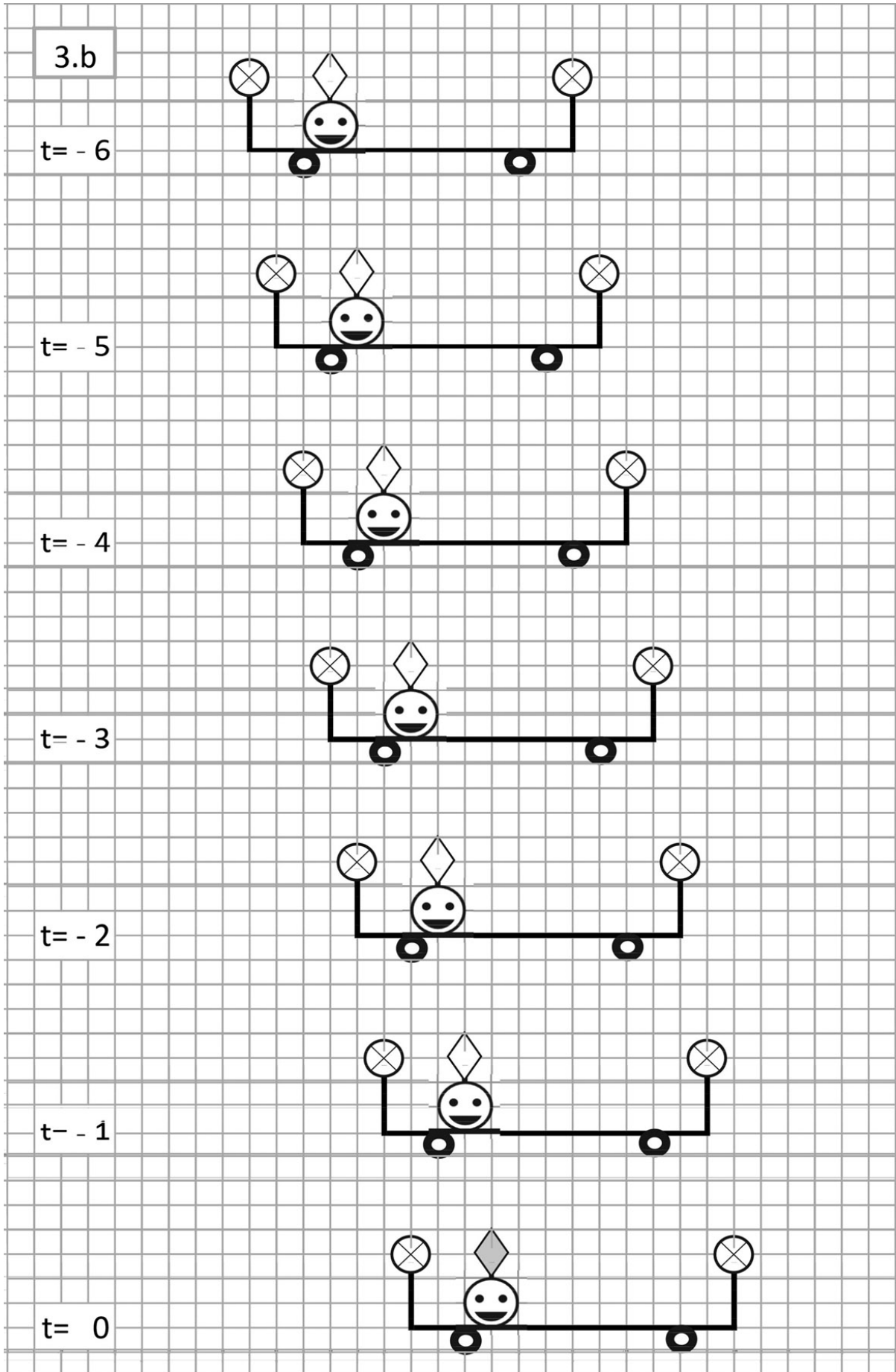
- 39. Bepaal na hoeveel tijdstappen de lichtflits de andere kant van de trein raakt als je tekenregel 2 gebruikt.
- 40. Bepaal de snelheid van de lichtflits.
- 41. Vergelijk je antwoorden met de antwoorden van het andere tweetal.

Opdracht 3.8: Beantwoorden lesvraag

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



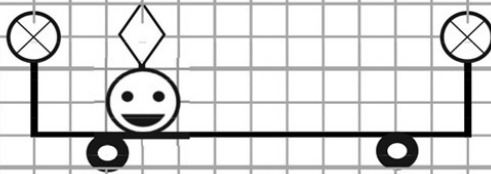




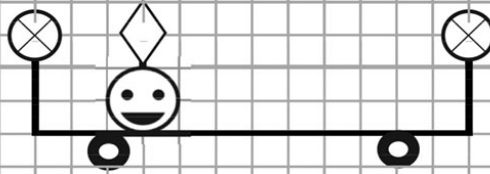


3.b

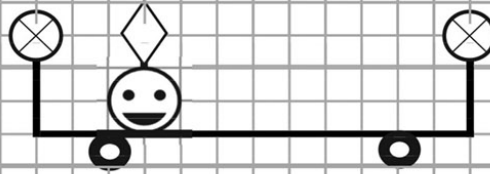
$t = -6$



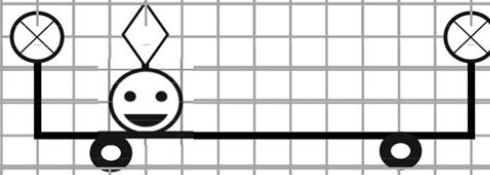
$t = -5$



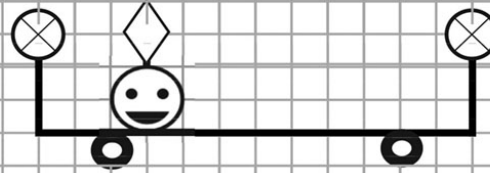
$t = -4$



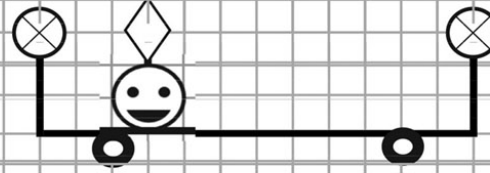
$t = -3$



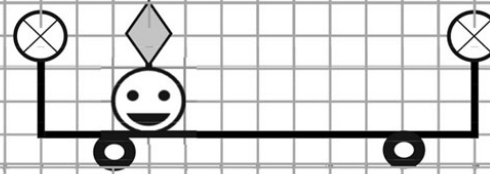
$t = -2$

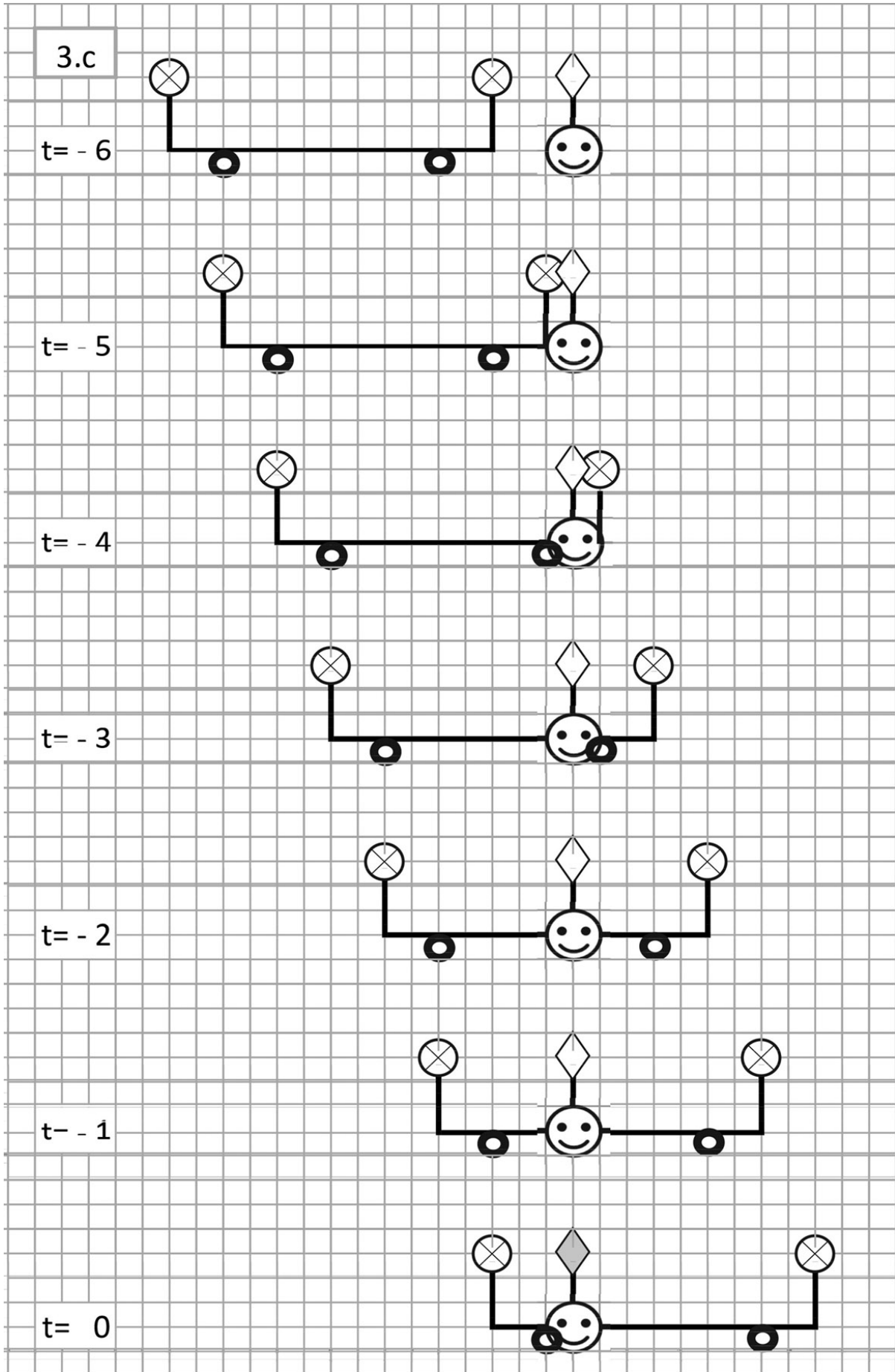


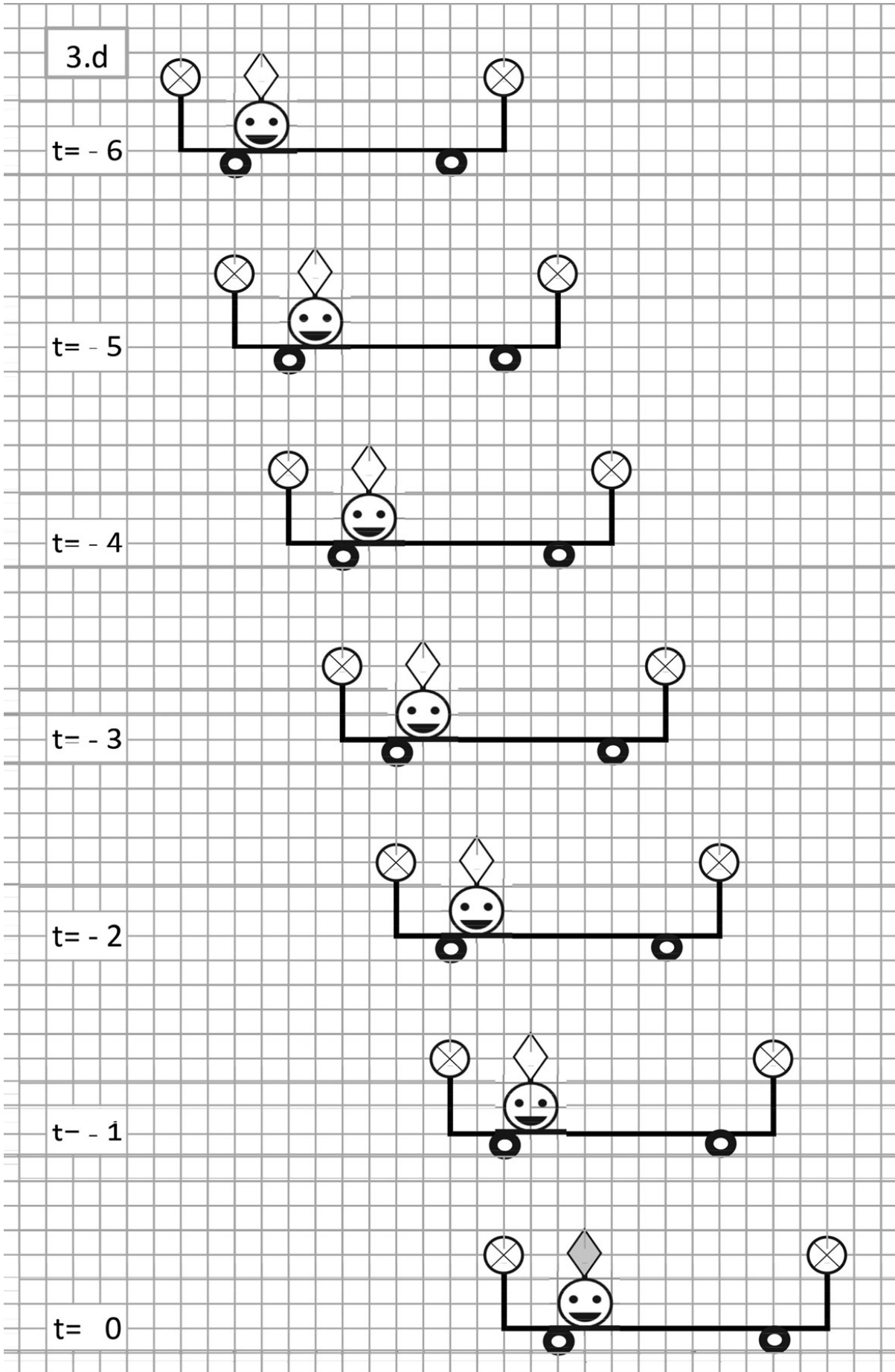
$t = -1$

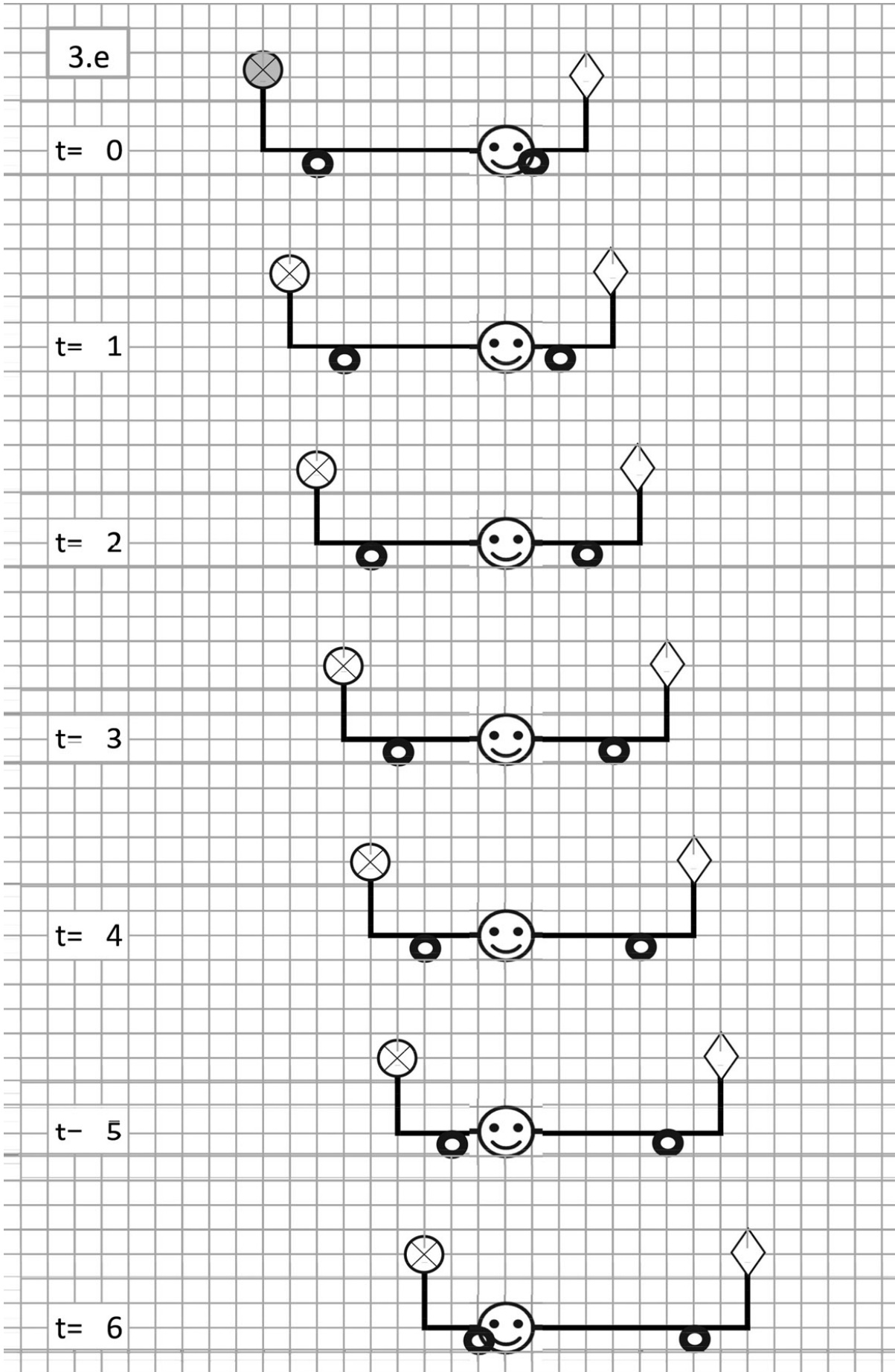


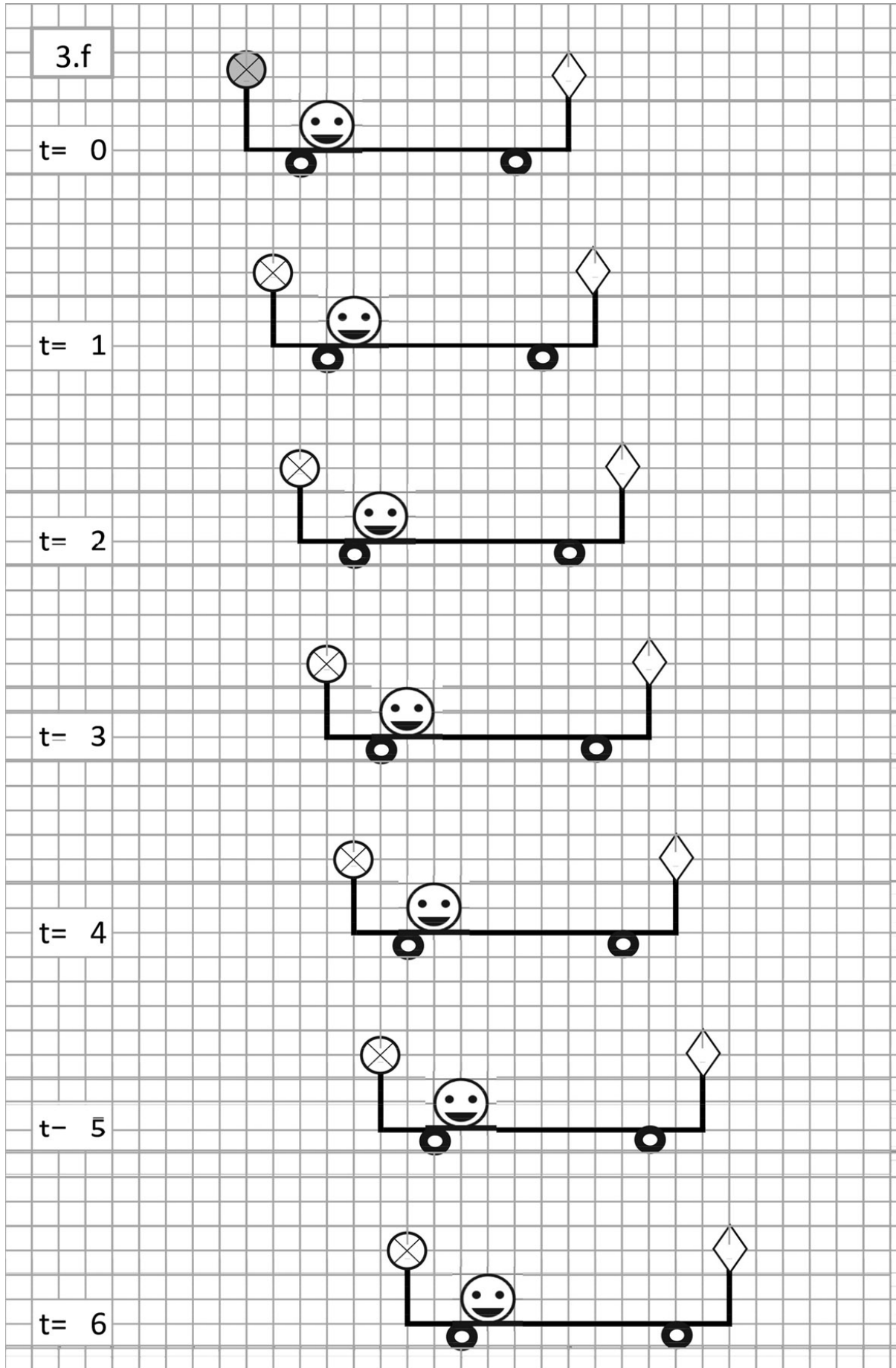
$t = 0$













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

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

43. In het Michelson-Morley experiment bewegen de waarnemer en de lichtbron *wel/niet* ten opzichte van elkaar.
44. In het Michelson-Morley experiment bewegen de waarnemer en het heelal *wel/niet* ten opzichte van elkaar.
45. In het Michelson-Morley experiment bewegen de lichtbron en het heelal *wel/niet* ten opzichte van elkaar.
46. 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.**

47. 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.
48. 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.*
49. 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:

50. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de waarnemer.
51. De waarnemer *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.
52. 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

53. In het De Sitter experiment bewegen de lichtbronnen en de onderzoeker wel/niet ten opzichte van elkaar.
54. In het De Sitter experiment bewegen de lichtbronnen en het massamiddelpunt van de dubbelster wel/niet ten opzichte van elkaar.
55. In het De Sitter experiment bewegen de onderzoeker en het massamiddelpunt van de dubbelster wel/niet ten opzichte van elkaar.
56. 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.**

57. 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.
58. 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.*
59. 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:

60. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de waarnemer.
61. De waarnemer *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.
62. De lamp *beweegt/stilstaat* ten opzichte van de achtergrond.



Opdracht 4.3: Reflectieopdracht

63. 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

64. 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.

65. 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

66. 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.

67. 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

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