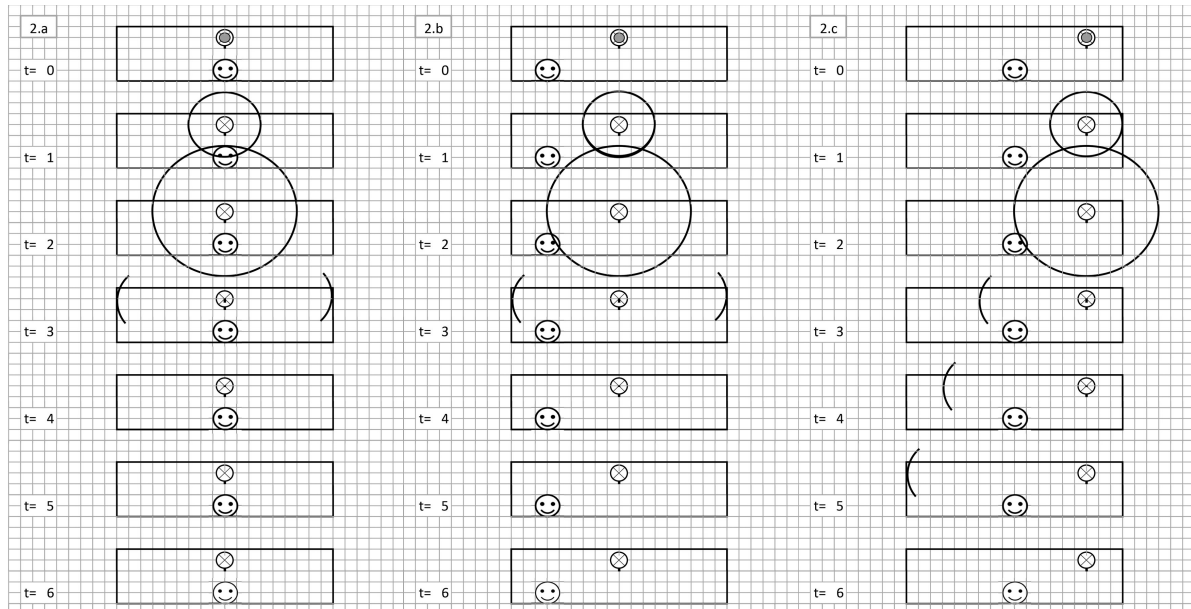


2. Hoe beweegt licht?

Opdracht 2.1

Tekenaanwijzing: laat het licht vertrekken uit het midden van de lamp.



Er zijn meerdere manieren om dit te tekenen: met cirkels, met streepjes of met stipjes. In principe zijn alledrie goed. Bij een 1-dimensionale opdracht zijn streepjes/stipjes wel efficiënter.

2.a licht raakt de deuren op $t=3$

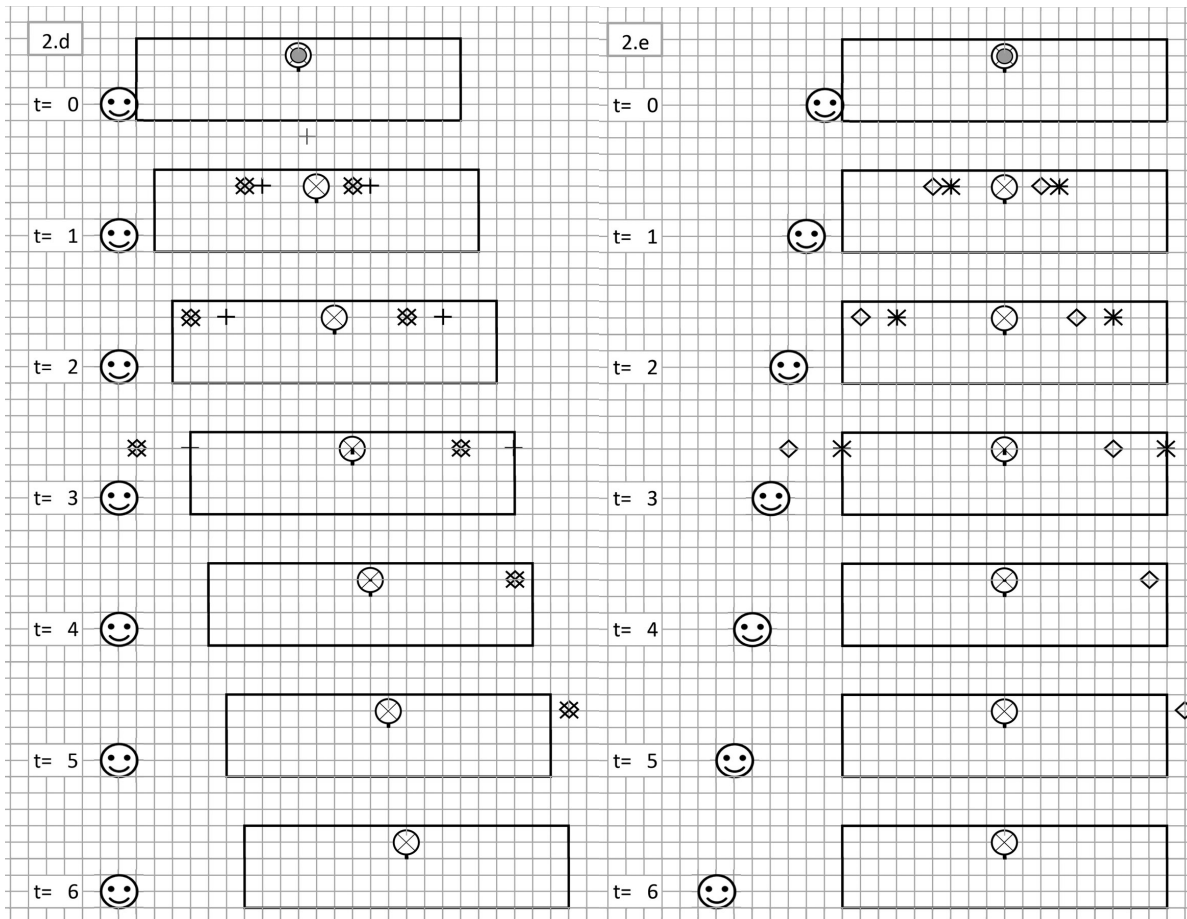
2.b licht raakt de deuren op $t=3$

2.c licht raakt de rechterdeur op $t=1$ en de linkerdeur op $t=5$.



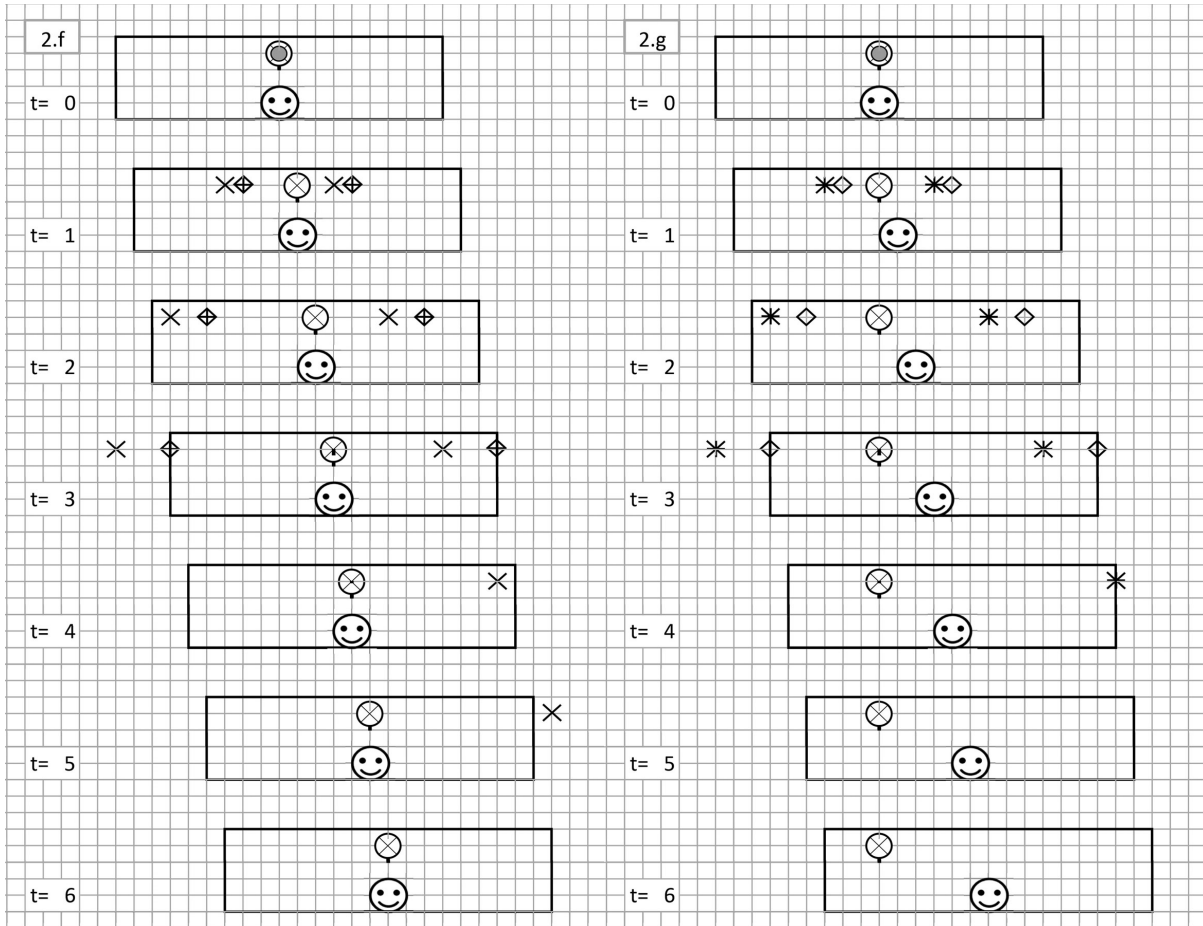
Opdracht 2.2

Er zijn drie mogelijke consistente uitwerkingen: ten opzichte van de oorspronkelijke positie van de lichtbron (golfmodel van licht - kruis); ten opzichte van de lamp (deeltjesmodel van licht - plusje); ten opzichte van de waarnemer (lichtpostulaat - ruitje). Voor het overzicht zijn de symbolen voor lichtpostulaat een regel lager getekend, maar zij bevinden zich steeds op de hoogte waarop het licht is uitgezonden.



Tijdstip dat het licht bij de deuren aankomt hangt af van het gebruikte model.

- 2.c Golfmodel & lichtpostulaat: linkerdeur tussen 2 en 3, rechterdeur tussen 4 en 5
Deeltjesmodel: licht bereikt beide deuren op $t=3$
- 2.d Golfmodel en deeltjesmodel: licht bereikt beide deuren op $t=3$
Lichtpostulaat: linkerdeur tussen 2 en 3, rechterdeur tussen 4 en 5



Tijdstip dat het licht bij de deuren aankomt hangt af van het gebruikte model.

2.e Golfmodel: linkerdeur tussen 2 en 3, rechterdeur tussen 4 en 5
 Deeltjesmodel en lichtpostulaat: licht bereikt beide deuren op $t=3$

2.f Golfmodel en deeltjesmodel: licht bereikt beide deuren op $t=3$
 Lichtpostulaat: licht bereikt beide deuren op $t=3$

Opdracht 2.4: Beantwoorden lesvraag

Licht heeft een constante snelheid ten opzichte van iets. Dat iets kan zijn:

1. de positie waar het licht is uitgezonden/ "de achtergrond"
2. de lichtbron
3. een waarnemer

3. Wat kunnen we leren van tekenregelvoorspellingen?

Opdracht 3.1: Tekenregel 1: constante snelheid t.o.v. beginpositie/papier

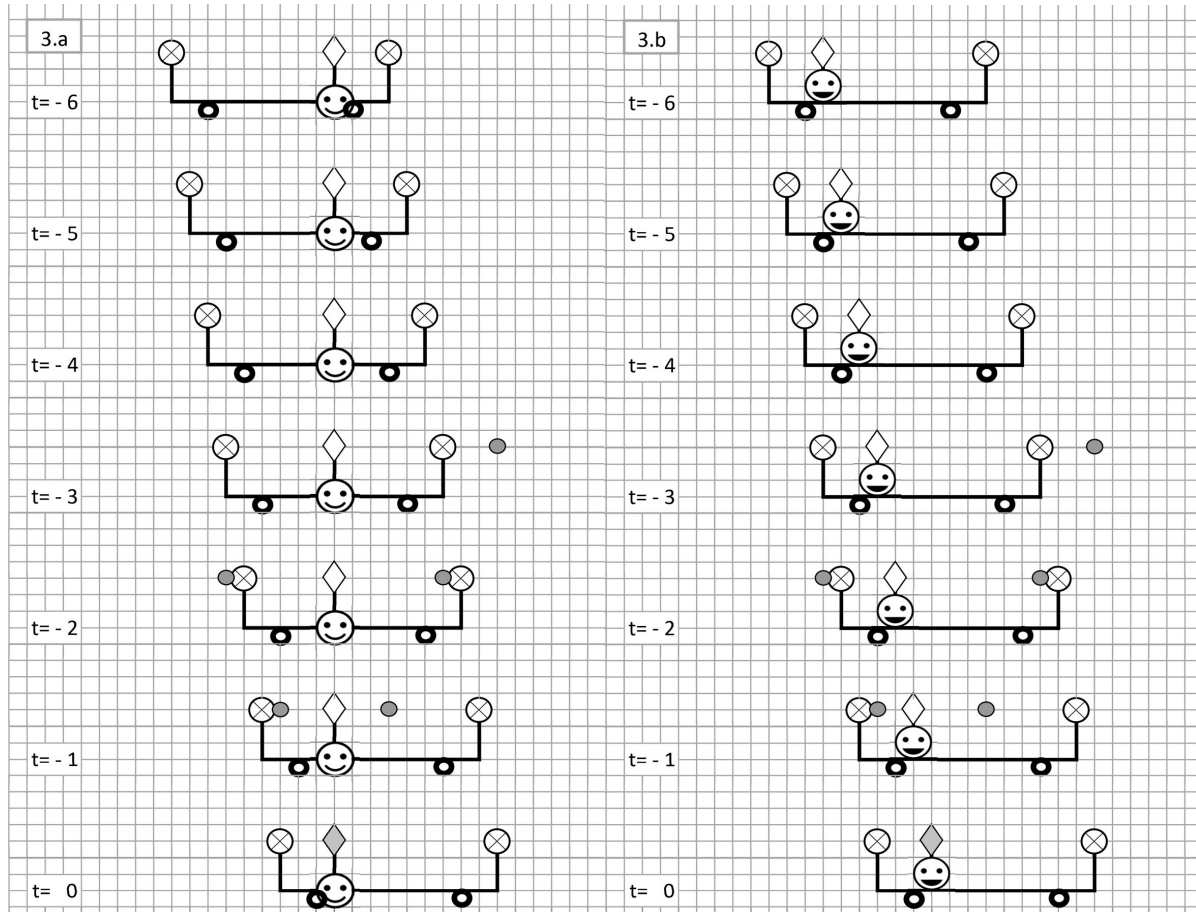
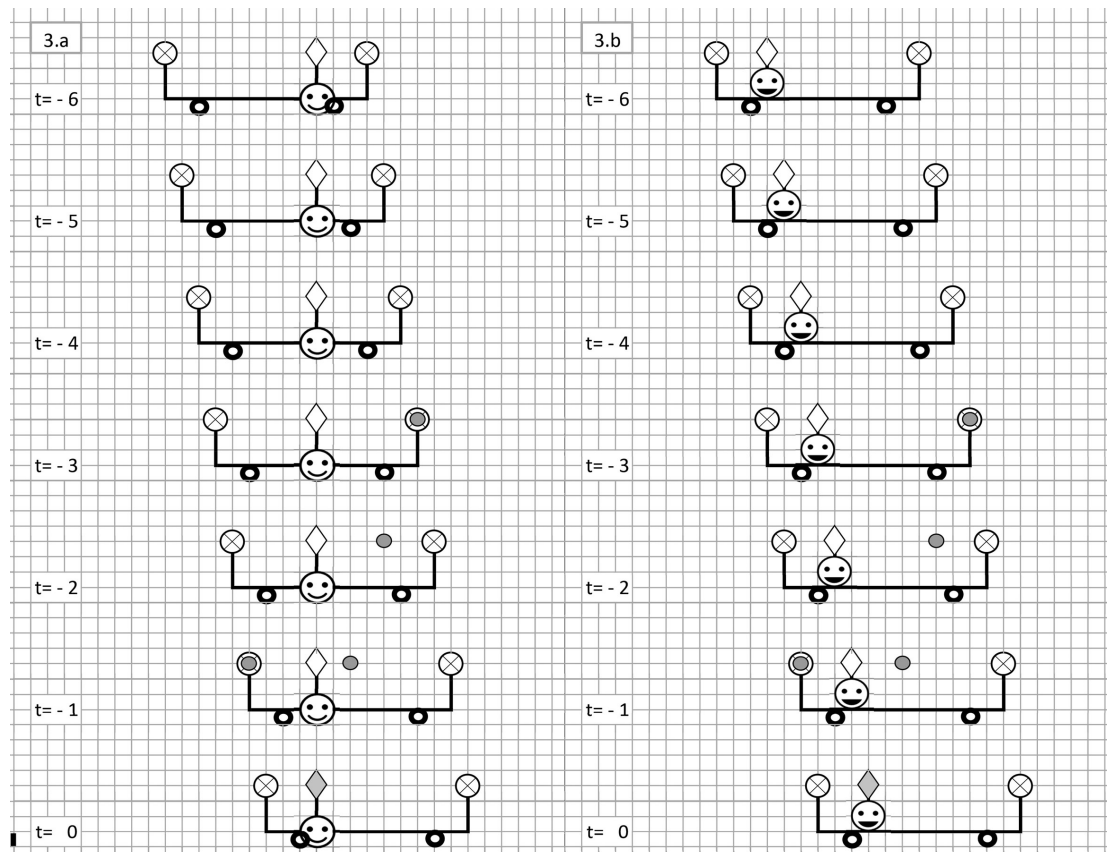


Diagram 3a

1. links tussen $t = -1$ en $t = -2$; rechts tussen $t = -2$ en $t = -3$
2. Snelheid ten opzichte van het papier en de onderzoeker 3 hokjes/tijdstapje; ten opzichte van de lampen: 2 hokjes/tijdstapje naar rechts en 4 hokjes/tijdstapje naar links.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet

Diagram 3b

1. links tussen $t = -1$ en $t = -2$; rechts tussen $t = -2$ en $t = -3$
2. Snelheid ten opzichte van het papier 3 hokjes/tijdstapje; ten opzichte van de lampen en de onderzoeker: 2 hokjes/tijdstapje naar rechts en 4 hokjes/tijdstapje naar links.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet

Opdracht 3.2: Tekenregel 2: Constante snelheid t.o.v. lichtbron

Diagram 3.a

1. Links $t = -1$; rechts $t = -3$
2. Snelheid ten opzichte van het papier en de onderzoeker 4 hokjes/tijdstapje naar links en 2 hokjes/tijdstapje naar rechts; ten opzichte van de lampen: 3 hokjes/tijdstapje.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet.

Diagram 3.b

1. Links $t = -1$; rechts $t = -3$
2. Snelheid ten opzichte van het papier 4 hokjes/tijdstapje naar links en 2 hokjes/tijdstapje naar rechts; ten opzichte van de lampen en de onderzoeker: 3 hokjes/tijdstapje.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet.

Opdracht 3.3: Verwerkingsvragen

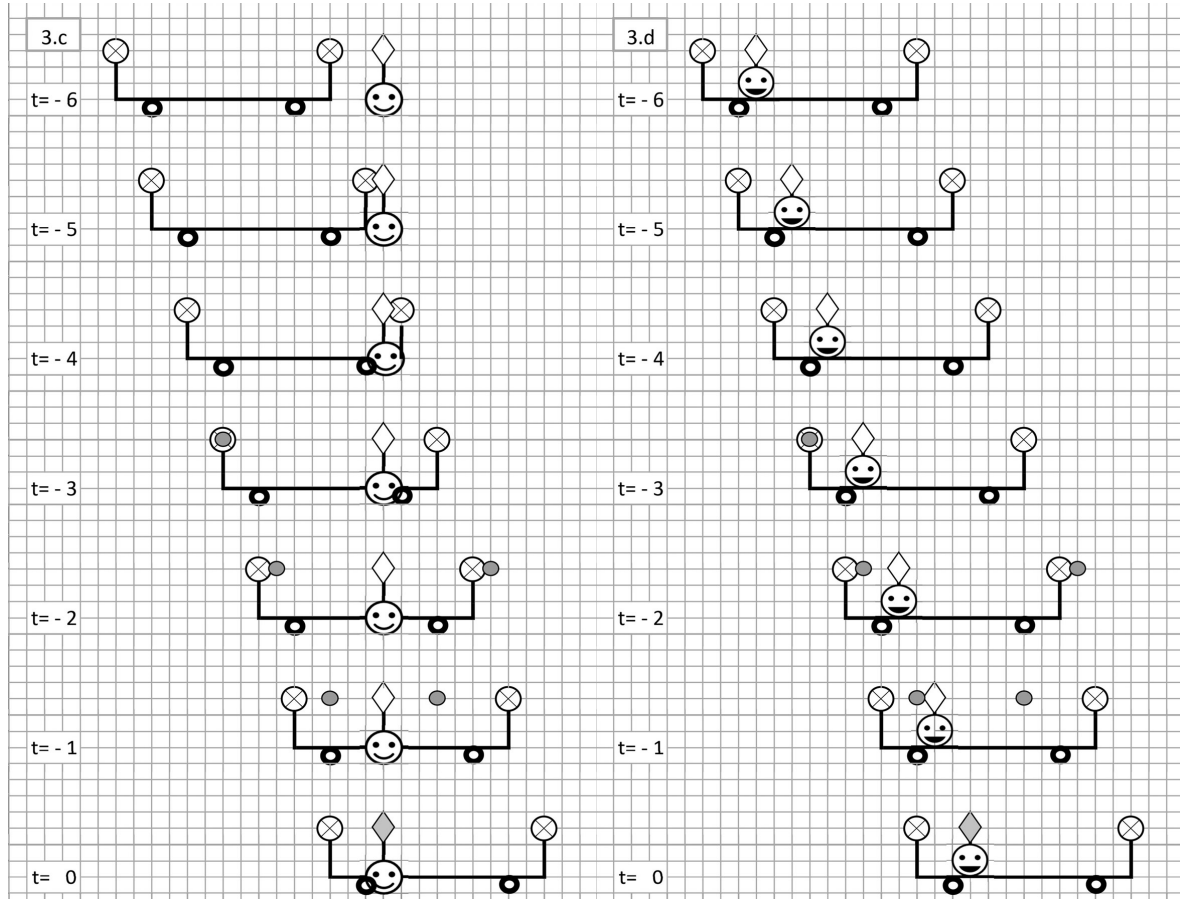
Diagram 3.a	Tekenregel 1 (tov papier)	Tekenregel 2 (tov lamp)	Diagram 3.b	Tekenregel 1 (tov papier)	Tekenregel 2 (tov lamp)
1a	3	2	3a	2	3
1b	4	3	3b	2	3
1c	3	2	3c	3	2
2a	3	4	4a	4	3
2b	2	3	4b	4	3
2c	3	4	4c	3	4

Reflectieopdracht 3.4

1. Fysisch correcte antwoord: D
2. Eigen antwoord. We willen toe naar nee.
3. Nee, want de voorspellingen zijn anders. Een meting kan hooguit één van de twee voorspellingen bevestigen.

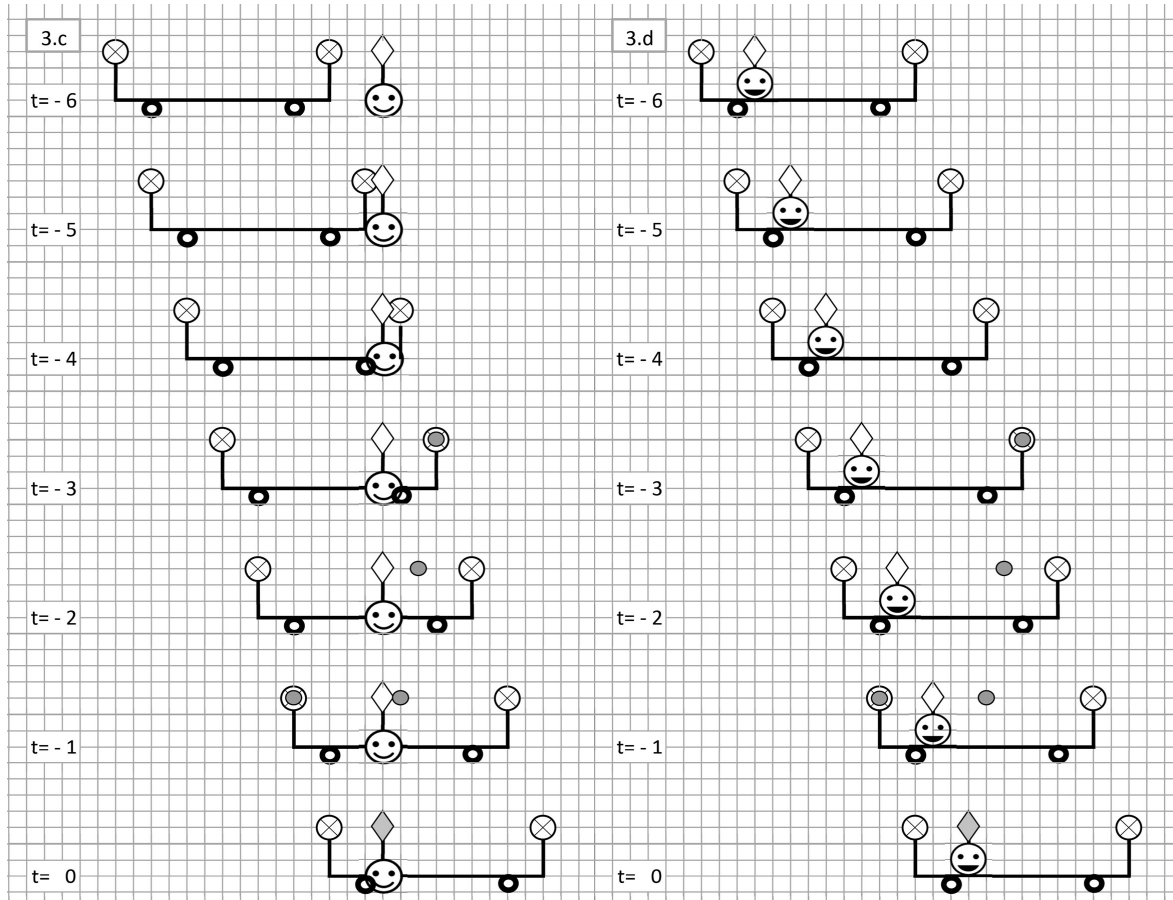
Opdracht 3.5 Extra oefenen met tekenregel 1 en 2

Tekenregel 1 : constante snelheid tov ruitjespapier

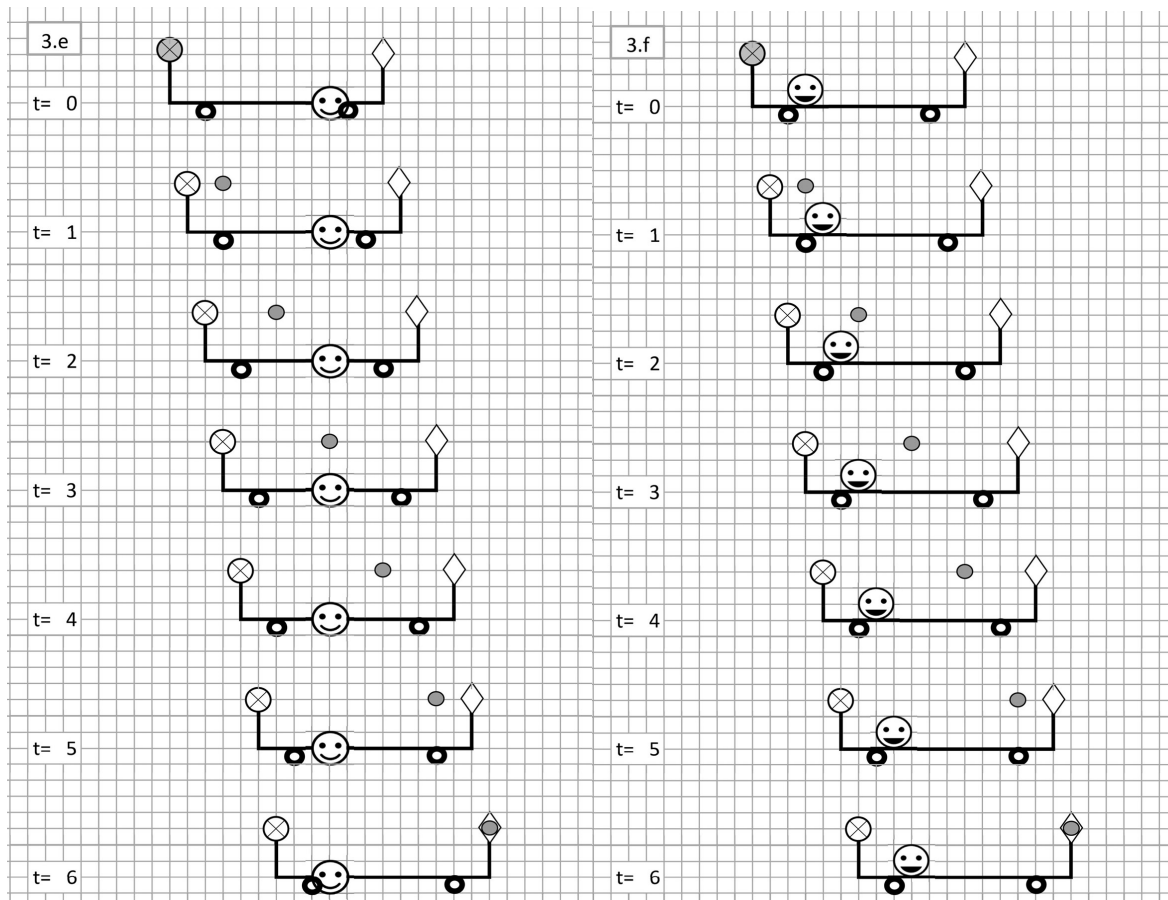


3.1

1. 3.c & 3.d $t=-3$ links en tussen $t=-1$ en $t=-2$ rechts.
2. 3.c: snelheid ten opzichte van het papier en de onderzoeker 3 hokjes/tijdstapje; ten opzichte van de lampen: 1 hokjes/tijdstapje naar rechts en 5 hokjes/tijdstapje naar links.
3.d: snelheid ten opzichte van het papier 3 hokjes/tijdstapje; ten opzichte van de lampen en de onderzoeker: 1 hokjes/tijdstapje naar rechts en 5 hokjes/tijdstapje naar links.
3. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet.

Tekenregel 2 : constante snelheid tov ruitjespapier

3.2

1. 3.c & 3.d Links $t = -1$; rechts $t = -3$
 2. 3.c: snelheid ten opzichte van het papier en de onderzoeker 5 hokjes/tijdstapje naar links en 1 hokjes/tijdstapje naar rechts; ten opzichte van de lampen: 3 hokjes/tijdstapje.
 3. 3.d: snelheid ten opzichte van het papier 5 hokjes/tijdstapje naar links en 1 hokjes/tijdstapje naar rechts; ten opzichte van de lampen en de onderzoeker: 3 hokjes/tijdstapje.
 4. Antwoorden voor de tijdstippen gelijk, voor de snelheid niet.
1. Wat is het verschil in de uitkomst? Beide tekenregels doen een andere voorspelling over het tijdstip waarop het licht is uitgezonden.
 2. Hoe kan je dat verklaren? De tekenregels staan voor verschillende modellen van het gedrag van licht.

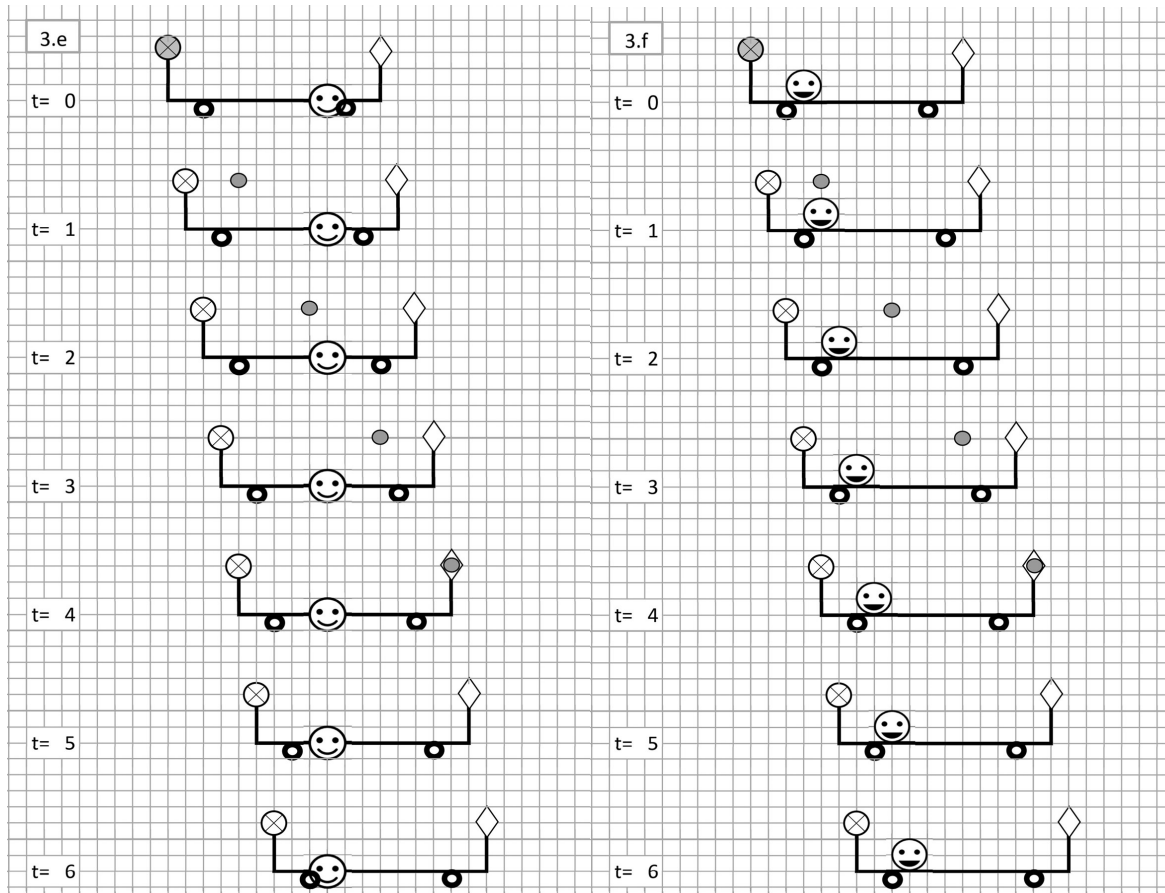
Opdracht 3.6 Extra oefenen met tekenregel 1


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

1. 6 tijdstapjes
2. 3 hokjes per tijdstapje naar rechts
3. evenveel tijdstapjes, maar een andere snelheid

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

1. 6 tijdstapjes
2. 2 hokjes per tijdstapje naar rechts
3. Evenveel tijdstapjes, maar een andere snelheid

Opdracht 3.7 Extra oefenen met tekenregel 2


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

1. 4 tijdstapjes
2. 4 hokjes per tijdstapje naar rechts
3. Evenveel tijdstapjes, maar een andere snelheid

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

1. 4 tijdstapjes
2. 3 hokjes per tijdstapje naar rechts
3. Evenveel tijdstapjes, maar een andere snelheid

Opdracht 3.8: Beantwoorden lesvraag

We hebben twee tekenregels gebruikt om voorspellingen te doen

Toepassen van deze tekenregels in dezelfde situatie levert verschillende voorspellingen op.

Deze twee voorspellingen kunnen niet allebei tegelijk door een meting bevestigd worden.



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

Opdracht 4.1: Michelson-Morley Experiment

Beweging

1. Niet
2. Wel
3. Wel
4. Diagram 3b

Het Michelson-Morley experiment in het Event Diagram

5. Gelijk aan
6. Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de lichtbron.
7. Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de achtergrond.

Geldigheid van de conclusie

8. Stilstaat
9. Beweegt
10. Beweegt

Opdracht 4.2: De Sitter Experiment

Beweging

1. Wel
2. Wel
3. Niet
4. Diagram 3a

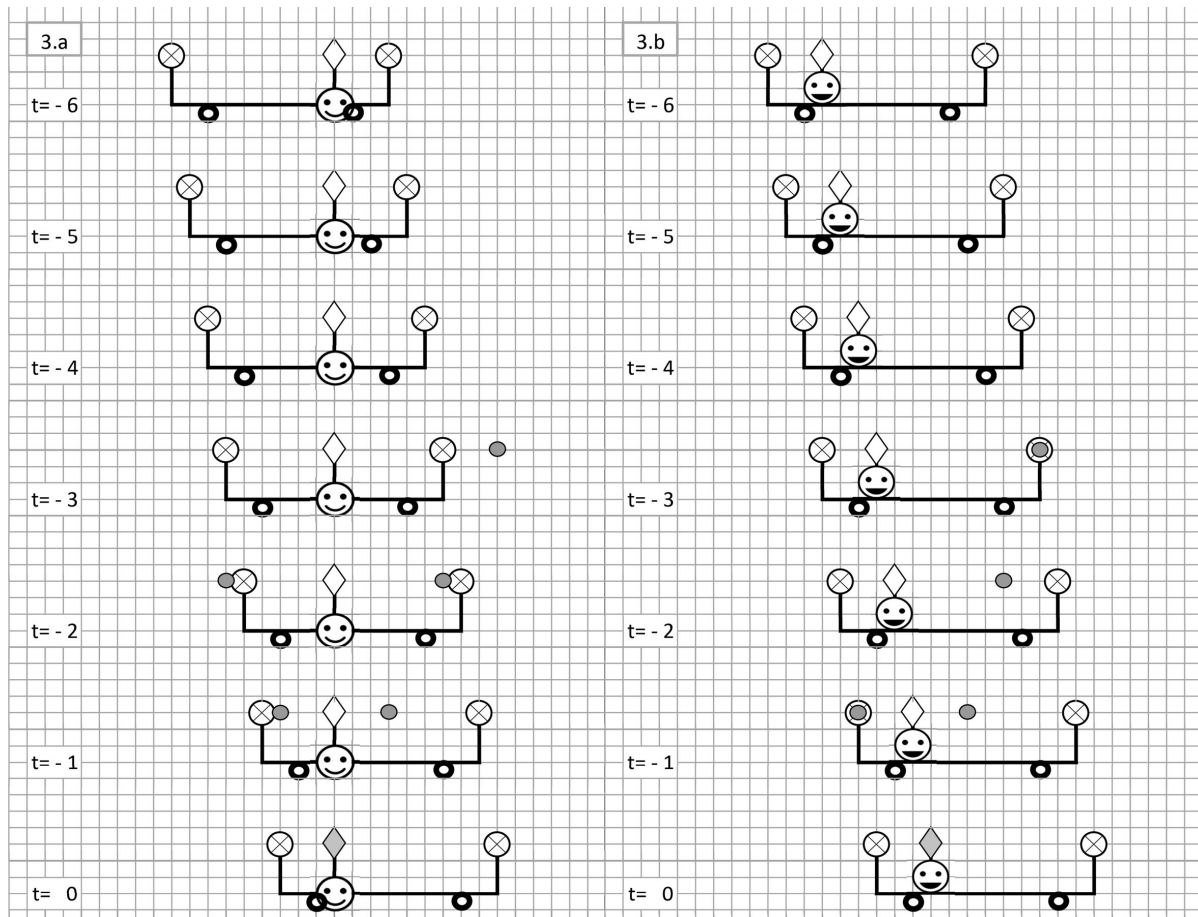
Het De Sitter experiment in het Event Diagram

5. Gelijk aan
6. Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de achtergrond.
7. Licht beweegt met een constante snelheid ten opzichte van de lichtbron.

Geldigheid van de conclusie

8. Beweegt
9. Stilstaat
10. Beweegt

Opdracht 4.3: Verwerkingsvragen



Vragen bij Diagram 3.a

1.
 - a. 3 hokjes/tijdstapje
 - b. 2 hokjes/tijdstapje
 - c. 3 hokjes/tijdstapje
2. Wat is de snelheid van het licht naar links?
 - a. 3 hokjes/tijdstapje
 - b. 4 hokjes/tijdstapje
 - c. 3 hokjes/tijdstapje

Vragen bij Diagram 3.b

1. Wat is de snelheid van het licht naar rechts?
 - a. 3 hokjes/tijdstapje
 - b. 3 hokjes/tijdstapje
 - c. 4 hokjes/tijdstapje
2. Wat is de snelheid van het licht naar links?
 - a. 3 hokjes/tijdstapje
 - b. 3 hokjes/tijdstapje
 - c. 2 hokjes/tijdstapje



Opdracht 4.4: Beantwoorden lesvraag

1. Zowel tekenregel 1 als 2 levert geen algemeen voortbewegingsmiddel voor licht op.