

4.2 Domeinspecifieke leerstofopbouw

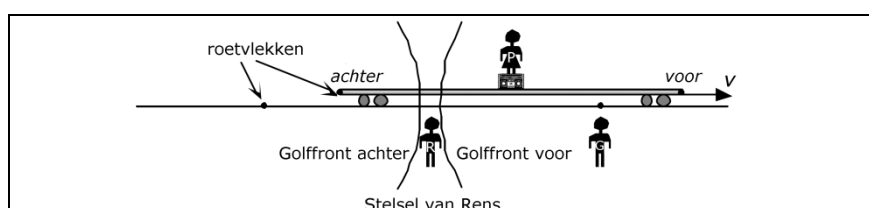
4.2.12 Relativiteitstheorie

Lesmaterialen | Toelichting opgave 32-44

Aangepaste treinparadox

Relativiteit van gelijktijdigheid wordt door veel leerlingen niet volledig begrepen (Scherr, 2001: p. 76). Met een aangepaste versie van de treinparadox in opgave 32-44 (Scherr, 2001: p. 217) uit de verzameling opgaven op de website van het handboek zou dat kunnen verhelpen.

Aan voorkant en de achterkant van een rijdende trein zijn rotjes bevestigd (figuur 1).



Figuur 1 – Voorbeeldsituatie rond gelijktijdigheid.

De rotjes zijn zo krachtig dat als ze ontploffen er roetvlekken op de rails achterblijven op de posities waar ze ontploft zijn. Ook op het treinstel zelf blijven roetvlekken achter. Rens (R) staat stil, precies in het midden tussen de roetvlekken op de rails. Puk (P) staat precies in het midden van de trein stil. De rotjes aan de voorkant en de achterkant van de rijdende trein ontploffen. Als elk rotje ontploft, wordt een lichtflits geproduceerd ('golffront voor' en 'golffront achter'). Rens ontvangt de golffronten tegelijkertijd, dus ontploften de rotjes in zijn stelsel tegelijkertijd. Leerlingen vinden het lastig dat dit ook voor Gerard geldt, omdat hij het rotje aan de voorkant eerder ziet. Volgens Rens bereikt het golffront van het voorste rotje Puk eerder dan het golffront van het achterste rotje, want Puk beweegt zich naar de golfbron van het voorste rotje (brandvlek op de rails) toe en beweegt van de andere brandvlek op de rails weg. De overgang die gemaakt moet worden van Rens naar Pucks stelsel is voor veel leerlingen erg moeilijk. De meeste leerlingen antwoorden (correct) dat in Rens' stelsel de golffronten Puk op andere momenten bereiken. Vervolgens redeneren ze (incorrect) dat in Pucks stelsel de golffronten haar tegelijkertijd bereiken. Weinig leerlingen zien uit zichzelf in dat deze antwoorden inconsistent zijn. Om dit duidelijker te maken, staat bij Puk een gettoblaster die muziek speelt als het eerste signaal de gettoblaster raakt en stopt bij de aankomst van het tweede signaal. Als beide golffronten tegelijkertijd bij de gettoblaster aankomen, speelt deze niet. Volgens Rens hoort hij muziek en is het cassettebandje een stukje verder gedraaid. Dit moet voor Puk ook zo zijn. De muziek is gehoord of niet, het bandje heeft gedraaid of niet. Rens en Puk kunnen uitstappen en controleren of het bandje verdraaid is, en daar moet iedereen het over eens zijn. De enige manier waarop de gettoblaster kan spelen in het stelsel van Puk is als in haar stelsel het voorste rotje eerder is ontploft dan het achterste rotje. Conclusie: gelijktijdigheid is relatief!

De gettoblaster laat leerlingen focussen op het plaatsvinden van een gebeurtenis (muziek of niet) en minder op de tijdvolgorde van gebeurtenissen (het ontvangen van de golffronten). Scherr stelt dat de tutorial zeker helpt, maar dat het voor veel leerlingen toch moeilijk blijft de paradox op te lossen. Veel leerlingen beweren dat de muziek speelt voor Rens en voor Puk niet, zij concluderen (incorrect) dat de SRT stelt dat gebeurtenissen die in één stelsel plaatsvinden niet noodzakelijkerwijze in alle stelsels plaatsvinden. Weinig leerlingen verzinnen uit

zichzelf dat de paradox verdwijnt als gelijktijdigheid relatief is in plaats van absoluut.

Twee gebeurtenissen die op dezelfde locatie plaatsvinden moeten dezelfde tijdvolgorde hebben in alle coördinatenstelsels. Dit is een gevolg van de wet van oorzaak en gevolg (de gebeurtenissen ‘golffront voor bereikt Puk’ en ‘golffront achter bereikt Puk’ liggen in elkaars lichtkegel). Dus: óf de wet van oorzaak en gevolg moet overboord (de muziek is gehoord door Rens, maar het bandje is niet verdraaid volgens Puk), óf gelijktijdigheid is relatief. Alleen het laatste is waar.

Het is instructief de leerlingen te laten starten met de aanname dat de rotjes tegelijkertijd ontploften voor Puk (in plaats van Rens). Dit leidt dan tot de conclusie dat het achterste rotje eerder ontplofte dan het voorste rotje.