

Speciale relativiteitstheorie als semiotisering van de natuurkunde

Pieter Wisse

Dit is een poging om de natuurkundige speciale relativiteitstheorie te verduidelijken. Kan dat trouwens lukken zonder verkenning van bijbehorende algebraïsche vergelijkingen? Ik heb het erop gewaagd met louter simpele meetkundige illustraties. Juist voor begrip op hoofdlijnen vind ik de semiotische insteek zo gek nog niet.

Zo meen ik te herkennen, dat Albert Einstein (1879-1955) principieel verschil veronderstelt tussen iets (lees ook: object, waaronder gebeurtenis) aan de ene en een waarnemer ervan aan de andere kant. Kant? Ja, dergelijk onderscheid heeft de filosoof Immanuel Kant (1724-1804) reeds tot grondslag van zijn kritiek(en) gemaakt. Dat verschil houdt voor Einstein o.a. **een fysieke afstand** in.

Voorts neemt Einstein m.i. aan, dat iets en waarnemer mechanisch blijven waar ze zijn resp. onveranderd voortbewegen zoals ze doen (en wel eenparig-rechthoekig voor wat zijn speciale relativiteitstheorie betreft). Een waarnemer kan daarom slechts iets gewaar zijn door een teken. Het iets in kwestie geldt als de afzender (lees ook: bron), de waarnemer als de ontvanger. Kortom, dat teken overbrugt de afstand tussen iets en waarnemer. En dat kost nu eenmaal **een fysieke tijdsduur**.

Feitelijk hanteert Einstein aldus geen twee-, maar een driedig onderscheid, te weten tussen iets, teken en waarnemer. Naar zijn aard (althans, zoals verondersteld) is het teken vanaf vertrek tot aankomst apart onderweg.

Als teken (!) kan en moet zijn verplaatsing daarom onafhankelijk van iets en/of waarnemer werken. Volgens mij is dat de crux van de speciale relativiteitstheorie.

(Want) Einstein oriënteert zich op electro-magnetische straling – zeg ruwweg, licht – als tekenmateriaal. Zijn aanname is, dat een lichtteken zich (ook) eenparig (voort)beweegt, maar niet volgens een enkele lijn. Onbelemmerd gebeurt verspreiding in alle richtingen, dus bolvormig. En, nota bene, licht heeft een constante snelheid. Die snelheid is in vacuüm circa 300.000 kilometer per seconde. De constante verplaatsingswaarde verklaart de uitgesproken nadruk als de lichtsnelheid.

Voorgangers van Einstein scheren iets en teken in navolging van Galileo Galilei (1564-1642) qua beweging nog over één kam, en wel de klassiek-mechanische. Zij nemen aan dat het teken in de richting waarin iets beweegt, de snelheid van dat iets, zeg maar, meekrijgt. En in de precies tegenovergestelde richting zou de daadwerkelijke tekensnelheid (dus) navenant lager uitpakken.

Het licht op een rijdende auto, bijvoorbeeld, verspreidt zich volgens de speciale relativiteitstheorie echter even snel naar alle richtingen. En het maakt voor de snelheid van het geproduceerde (licht)teken dus helemaal niets uit, dat de auto rijdt of niet.

Het vergt het idee van radicale ontkoppeling van het teken om te rechtvaardigen, dat zijn beweging netzo totaal losstaat van de bewegingen van zowel iets als waarnemer. Zodra het teken ontstaat (en dus iets verlaat), volgt het strikt en slechts de natuurwetten en -regels voor zijn eigen categorie. Dat gaat door totdat het teken de waarnemer bereikt.

Het teken is in electro-magnetische zin géén projectiel dat op basis van ballistische calculatie zodanig afgevuurd is dat het met precisie (slechts) de waarnemer raakt. De vergelijking met een bolvormige ballon is passender. De straal van de ballon wordt met constante snelheid groter en het is ergens-op-de-ballonwand dat de waarnemer getroffen wordt. Het middelpunt van de gestaag uitdijende ballon is de ruimtelijke plaats van iets op het moment waarop het teken ontstaat. Daar blijft het middelpunt, terwijl iets zèlf zich intussen alweer elders kan bevinden.

In het platte vlak van dit opstel geef ik zo'n bol als cirkel weer.

Wat mij in Einsteins aanname van constante lichtsnelheid opvalt, is dat bij vertrek noch aankomst versnelling aan de orde is ten opzichte van iets (positief) resp. waarnemer (negatief). Het ontstaan van het teken is gedacht géén tijd te kosten; tevens is het teken direct op zijn eigen karakteristieke snelheid, terwijl iets niet(s) verandert door lancering. Voor de opname van het teken door de waarnemer geldt het omgekeerde; afremming tot de snelheid van en opname door de waarnemer kost evenmin tijd, terwijl er verder niets aan de waarnemer wijzigt.

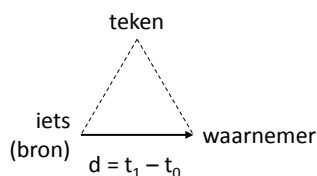
(Ook) een lichtteken verplaatst zich weliswaar niet met oneindige snelheid, maar het kent volgens de speciale relativiteitstheorie wèl een oneindige versnelling bij vertrek en aankomst.

Doordat iets zèlf zijn afstand tot de waarnemer principieel niet kan overbruggen en het omgekeerd evenmin lukt, geeft Einstein een verklaring waaróm een willekeurig Ding an sich à la Kant fysiek niet kenbaar is.

Voor zijn speciale relativiteitstheorie bepaalt Einstein echter wel degelijk een specifiek iets met absoluut geldig verklaarde waarde. Nu telt elke theorie axioma's. Die status verleent Einstein dus aan de constante snelheid van electro-magnetische straling (in vacuüm).

Zonder de mogelijkheid van onmiddellijkheid is waarneming (lees ook: meting) van iets altijd bemiddeld. Wat als middel geldt, heet in die driedelige relatie een teken.

Een model ervan, zie figuur 1, heb ik ontleend aan de semiotische triade zoals ik 'm toeschrijf aan Charles Peirce (1839-1914). De aanname is dat de instrumenten voor tijdmeting, zgn klokken, gesynchroniseerd lopen. Onder de basislijn heb ik een aanduiding toegevoegd van de tijdsduur d , dwz de tijd die het teken gebruikt van iets naar waarnemer annex meetpunt. Het teken is op t_0 van het iets vertrokken en op t_1 bij de waarnemer aangekomen.

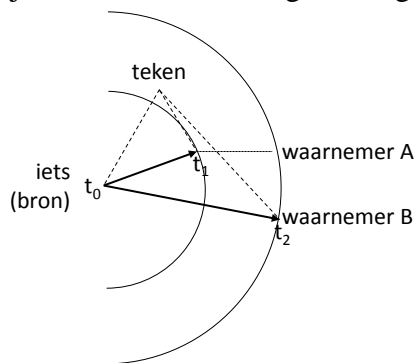


figuur 1: signaaloverdracht vergt tijd.

In de praktijk is dat vaak extra geschakeld geraakt. Het menselijke waarnemingsvermogen kent een beperkt bereik. Door een instrument wordt gemeten en een menselijke waarnemer neemt (pas) het instrument waar.

Wanneer er twee waarnemers zijn op verschillende afstanden van iets, verschillen dienovereenkomstig de tijdsduren voor het teken om ze te bereiken (onder de voorwaarde van gelijke tekensnelheden). Stel dat ook zij op de één of andere manier hun klokken gelijk laten

lopen. Als het teken aankomt, is het bij de ene waarnemer vroeger, of juist later dan bij de andere; zie figuur 2. Bijvoorbeeld, wie één kilometer verder verwijderd is van een bliksem, hoort de donderslag ongeveer één seconde later. (Klopt, hij zou de flits ook later zien indien zijn visuele waarnemingsvermogen er gevoelig genoeg voor is.)



figuur 2: tijdsverschil tussen tekengebeurtenissen.

Nogmaals, de snelheid van iets resp. waarnemer moet onderscheiden zijn van de tekensnelheid. Wie zich sneller dan de geluidssnelheid van de bliksem af beweegt, krijgt de bijbehorende donder zelfs nooit te horen.

Nogmaals, wat tekens volgens het electro-magnetische spectrum (in vacuüm) betreft, is volgens Einstein de snelheid constant (en dus onafhankelijk van de snelheid inclusief richting van de bron; op de – waargenomen – frequentie heeft de verhouding tussen bronsnelheid en waarnemersnelheid wèl invloed).

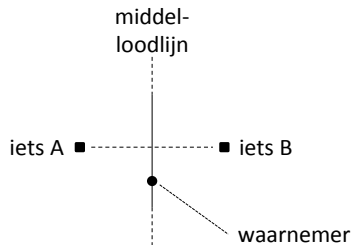
De zgn lichtsnelheid geldt tevens als maximum snelheid van wat dan ook. Aan het zicht van de bliksem kan een waarnemer slechts ontsnappen, wanneer hij zich er tijdig (!) met lichtsnelheid van af beweegt.

Galileo stelt reeds een mechanische relativiteitstheorie op. Volgens mij gaat het hem om de verhouding tussen en eventuele verbinding van wat er volgens verschillende referentiekaders gebeurt. Uitgangspunt is dat de werking van de natuur onafhankelijk is van het referentiekader ter beschrijving ervan. Hij maakt daarvoor echter nog geen onderscheid tussen iets en de waarneming ervan. Dat komt neer op – handhaving van – de aanname van absoluut geldig tijdsverloop, omdat de waargenomen gelijktijdigheid c.q. tijdsverschil – impliciet – gelijk gedacht is aan gelijktijdigheid van c.q. tijdsverschil tussen ietsen.

Einstein dingt niet af op gelijke geldigheid van fysieke wetmatigheid volgens verschillende referentiekaders, integendeel. Wat hij door de aanname van alom constante lichtsnelheid verbetert, is de nauwkeurigheid van wat feitelijk waarnemingstransformaties zijn. Daarvoor verklaart Einstein de verzameling transformatievergelijkingen van toepassing die bekend zijn onder de naam van Hendrik Lorentz (1853-1928).

Voor wat ik vanuit semiotisch perspectief als hoofdlijnen wil aantonen laat ik zulke transformaties in het midden. Daardoor mik ik hier inderdaad niet zozeer op uitleg van de speciale relativiteitstheorie, maar voor welke waarnemingsbeschrijving dan ook veeleer op principiële implicaties van erkenning van tekenverplaatsing.

Het onderscheid met fysieke afstand van dien tussen iets en waarnemer, met teken ertussen, houdt in, dat volg- c.q. gelijktijdigheid van tekens géén uitsluitel verschaft over volg- c.q. gelijktijdigheid van betekenende – toestanden van – iets(en).



figuur 3: voorwaardelijke alomgelijktijdigheid.

Volgens figuur 3 staan er twee ietsen opgesteld, A en B. Stel dat zij dankzij hun gesynchroniseerde klokken gelijktijdig allebei een teken (af)geven.

Op basis van gelijke tekensnelheid ervaart ook een waarnemer de gelijktijdig ontstane tekens van iets A en iets B slechts als gelijktijdig, wanneer hij zich op gelijke afstand van beide bevindt. In het platte vlak is die verzameling gelijktijdigheidspunten gegeven met de zgn middelloodlijn op – het lijnstuk tussen – A en B. Afgaande op figuur 3 neemt een waarnemer die zich rechts van de middelloodlijn bevindt een teken afkomstig van B eerder waar dan een teken afkomstig van A, hoewel ze aan hun resp. bronnen gelijktijdig zijn ontstaan. Links van de middelloodlijn is het voor een waarnemer uiteraard andersom.

Algemener, voor tekens met verschillende snelheden moet uiteraard met dat verschil rekening gehouden zijn. Dan komt met de middelloodlijn niet louter de gelijke afstand tot ietsen tot uitdrukking, maar de gelijke verhouding tussen afstand en snelheid.

Omgekeerd geredeneerd gelden gelijktijdig waargenomen tekens slechts als gelijktijdig ontstaan, indien de desbetreffende ietsen zich op het moment van bedoeld ontstaan allemaal op dezelfde afstand resp. dezelfde afstand-tekensnelheid ratio van de waarnemer bevonden hebben. Afgebeeld op het platte vlak is dat een cirkel met de waarnemer op het moment van tekenontvangst als middelpunt en als straal de afstand resp. dezelfde afstand-tekensnelheid ratio in kwestie.

Uitgaande van vaste, algemeen geldige tijdwaarden verschillen volgens Galileo beschrijvingen van mechanische bewegingen volgens verschillende referentiekaders louter ruimtelijk; als referentiekaders zich onderling eenparig-rechthoekig bewegen, is een eenparig-rechthoekige beweging van iets volgens het ene tevens eenparig-rechthoekig volgens het andere referentiekader.

Dat is en blijft een reuze praktische relativiteitstheorie. Neem een bal die in een voertuig met constante snelheid rechtuit rolt, terwijl dat voertuig met constante snelheid rechtuit rijdt. De balsnelheid ten opzichte van de weg is dan op z'n Galilio's de vectorsom met het voertuig als eerste en de weg als tweede referentiekader. Dat is op die manier doorgaans precies genoeg bepaald.

Aan de – wat overigens later pas is gaan heten – speciale relativiteitstheorie is nieuw, dat Einstein voor electro-magnetische straling met die opvatting van mechanische relativiteit breekt. Hij doet een andere aanname voor wat als zodanig, aanname dus, allesbehalve relatief is: constante lichtsnelheid. Doordat Einstein een problematische variabele laat verdwijnen, opent hij samenhangend zicht op andere verschijnselen. Zeg ook maar op hùn stelselmatige relativiteit.

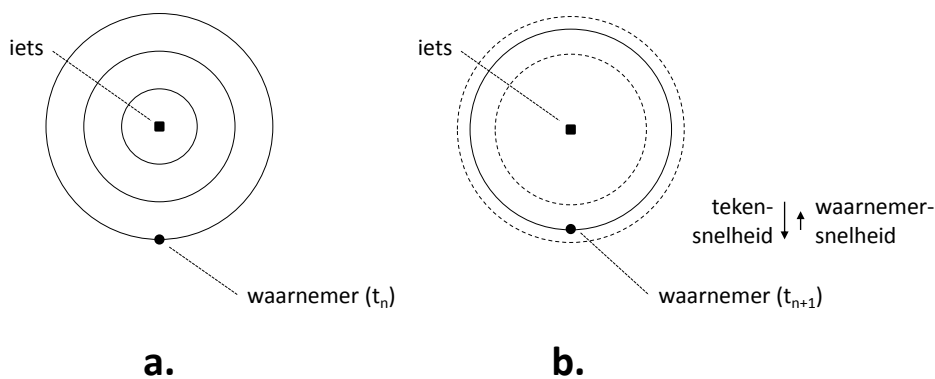
Dankzij zijn aanvullende tekenoriëntatie stelt Einstein, dat in natuurkundige waarnemingen annex metingen de – resp. tijdsduur van – verplaatsing van tekens verdisconteerd moet zijn.

Voor betrekkelijk langzame en onderling nabije ietsen en waarnemers is die tekenfactor verwaarloosbaar. Met lichtmetingen zijn de bewegingswetten van Galileo en Isaac Newton (1643-1727) dan onverminderd nauwkeurig en daarom bruikbaar. Dat verandert echter zodra de snelheid van iets en/of waarnemer de tekensnelheid nadert.

In figuur 4.a zijn iets en waarnemer statisch (ten opzichte van elkaar). Ze beschikken over gesynchroniseerde klokken. En een fysieke klok geeft met vaste regelmaat tekens: ..., n, n+1, ...

Stel dat iets overeenkomstig zijn klok (lees ook: als klok) achtereenvolgende tekens voortbrengt. Ze bereiken in een statische opstelling de waarnemer dan in hetzelfde ritme als waarmee ze eerder bij iets vertrokken. Ofwel, op basis van zijn eigen klok (lees voor eigen: op verhoudingsgewijs verwaarloosbare afstand) meent de waarnemer dat beide klokken gelijk lopen.

Dat kan veranderen zodra iets en waarnemer zich ten opzichte van elkaar bewegen. Stel dat de waarnemer in figuur 4.b (mechanisch) naar iets beweegt met de helft van de tekensnelheid. De tijdsduur totdat hij een vòlgend teken van iets waarneemt, bedraagt dan nog maar twee derde vergeleken met de situatie van figuur 4.a. De waarnemer ziet als het ware de klok van iets dienovereenkomstig sneller gaan dan zijn eigen klok (en zijn eigen klok langzamer dan die van iets).



figuur 4: relatief tijdsverloop resp. als waarnemingsvariabele.

De waarnemer vindt daarentegen zijn eigen klok sneller, zodra hij zich van iets af beweegt. Slechts wanneer hij zich in een cirkel òm iets beweegt, meent hij dat hun klokken gelijk (blijven) lopen.

Als de waarnemer het verloop tussen de klokken constant wil hebben, moet hij zich spiraalvormig ‘om’ iets bewegen. Nou ja, zo valt er van alles nog wat te bedenken onder de noemer van fysieke klokken.

Opzettelijk heb ik hierboven een algemenere formulering gekozen. Want de uitwerking van de tekenfactor neemt voor èlk tekenmateriaal toe, wanneer de afstand tussen iets en waarnemer verandert en/of de onderlinge iets-waarnemer snelheid de tekensnelheid nadert. En zo algemener beschouwd lijkt licht een uitzonderlijk tekenmateriaal, omdat de constante snelheid ervan in vacuüm tevens geldt als maximale snelheid überhaupt.

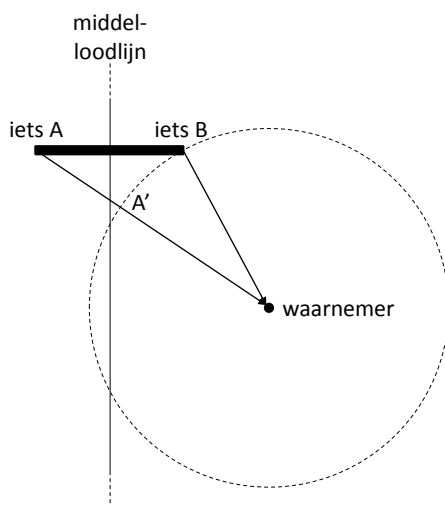
Op basis van het onderscheid tussen enerzijds – snelheden van – iets resp. waarnemer, anderzijds teken, hoeft de speciale relativiteitstheorie volgens mij niet nodeloos tot electro-magnetisch tekenmateriaal toegespitst te zijn.

Einsteins speciale relativiteitstheorie is m.i. alweer wat beter begrijpelijk als kritiek op vooral de relativiteitstheorie van Galileo. Zoals gezegd, voor het verband tussen – het waargenomen teken van – iets volgens verschillende referentiekaders kan volgens Einstein niet van constante lichtsnelheid en bijgevolg variabele tijdwaarneming geabstraheerd zijn. De tijdbepaling wijzigt mede in relatie tot bepalingen volgens de drie ruimtelijke dimensies. Inclusief tijd gaat het met transformatie om vier variabelen.

Hoe zit dat met de ruimtelijke waarnemingsvariabelen? Ik begin weer met een statische toestand, ditmaal met twee ietsen en één waarnemer. Stel dat iets A en iets B de beide uiteinden van een balk zijn. Allebei geven ze licht op een manier die ik gemakshalve continu noem.

Merk op dat de waarnemer in figuur 5 niet op de middelloodlijn van AB ligt. Wat hij afkomstig van A resp. B als gelijktijdig waarneemt, is als teken eerder bij A ontstaan (want volgens figuur 5 is de afstand van iets A tot de waarnemer groter).

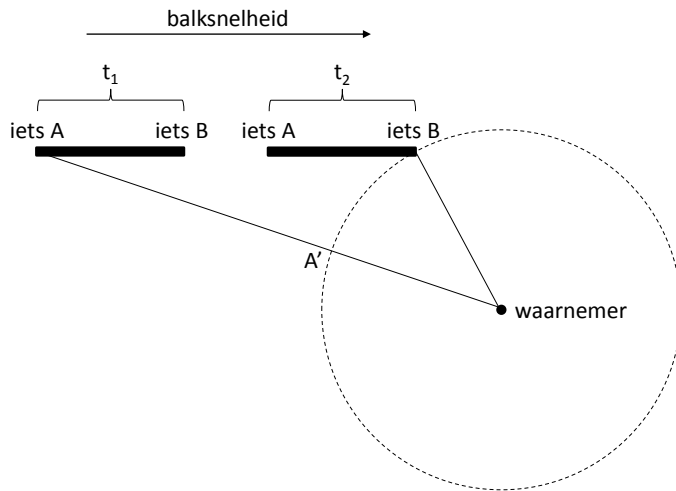
Het eerder van iets A afkomstige teken moet reeds tot A' gevorderd zijn om door de waarnemer gelijktijdig te worden waargenomen met een teken dat op dat moment ontstaat bij iets B. Voor de ruimtelijke waarneming maakt dat afstandsverschil echter niet uit. Omdat ietsen A en B en de waarnemer ten opzichte van elkaar in rust verondersteld zijn, klopt het dat de waarnemer iets A in het verlengde van A' veronderstelt, ook al stelt hij zijn gelijktijdige beeld van de balk samen uit ongelijktijdig ontstane tekens.



figuur 5: in een statische situatie lijkt alles wat het lijkt.

Door beweging(en) gaat zo'n vaste projectie echter niet langer op. Stel dat de balk AB van links naar rechts beweegt. Wat in één waarneming gecombineerd raakt, betreft volgens figuur 5 een teken van iets A dat eerder ontstaan is dan het teken in kwestie van B. Uitgaande van de afstand van de waarnemer tot de positie van iets B op t_2 , leidt de balksnelheid tot vertekening. Op basis van gelijktijdige waarneming plaatst de waarnemer iets A meer naar links, wat op een grotere balk duidt.

In het belachelijke getrokken toont figuur 6 dat de balk AB er voor de waarnemer uit ziet als een fysiek lichaam dat zich uitstrekt van de positie waarop iets A op t_1 een teken geeft tot de positie waarop iets B dat doet op t_2 .



figuur 6: ruimtelijk verloop als waarnemingsvariabelen.

In dit voorbeeld uitgaande van een (relatief) statische waarnemer vermindert de vertekening, totdat de middelloodlijn van de balk de waarnemer kruist. Daarna is bij gelijkblijvende beweging van links naar rechts van de balk de vertekeningrichting omgekeerd; de balk toont zich aan de waarnemer verhoudingsgewijs steeds kleiner.

Stel dat Galileo zijn metingen niet op zicht, maar louter op gehoor verricht had (reuk of tast nog daargelaten). Zou hij dan al de vertekening op het spoor gekomen zijn?

Wat telt is onderscheid tussen iets en een teken ervan. Waarneembaar zijn louter tekens.

De waarnemer leeft onvermijdelijk vervreemd van iets.

De fysieke, inherent afstandelijke bepaling van iets, dwz volgens ruimte-en-tijd, is afhankelijk van het toegepaste referentiekader. In tegenstelling tot wat Newton aanneemt, wijst Einstein een absoluut geldig referentiekader af. Elke waarneming is relatief.

Absoluut is volgens de speciale relativiteitstheorie de snelheid van electro-magnetische straling in vacuüm. Zulke straling kan als tekenmateriaal gelden.

Volgens een ander referentiekader inclusief waarnemer pakt het tekeneffect navenant anders uit, ofwel volgt een ander beeld van het fysieke geval.

Wat de absolute waarheid – in fysiek opzicht – over iets is, valt volgens Einstein dus nooit te beweren. Maar met recht geldt wèl dat iets er anders uit kan zien dan wat onderzoekers annex waarnemers zoals Galileo en Newton nog zelfs principieel meenden dat zij zagen (en/of hoorden ...).

Uit verschillen tussen tekens kan de waarnemer verandering van iets concluderen, te weten van iets waarvan hij de respectievelijke tekens afkomstig veronderstelt. Nogmaals, dit kan de waarnemer dus betrekkelijke kennis verschaffen, nooit absolute.

Een referentiekader is optimaal, als het – waargenomen – tekenverschillen zo eenvoudig mogelijk helpt ordenen.

De relativering door Einstein behelst verschuiving van het primaire object van de fysica. Hij maakt er het teken van.

Het fysieke iets is relatief bekend. De aanduiding middellijk is hiervoor wellicht duidelijker. Er is de relatie van iets via tekens met de waarnemer en vervolgens het waargenomen verschil, dus eveneens relatief, als kennisbasis.

Plato schetst het beeld van een grot. Er bestaan volgens die metafoer absolute ietsen, de vormen. Maar voor de mensen in de grot blijven ze onkenbaar. Zoals de mensen daar vastgeketend zijn, kunnen ze van de zgn vormen hoogstens schaduwen op de grotwand ontwaren.

Einstein besteedt geen energie meer aan wat hij toch niet te weten kan komen, ofwel iets in absolute zin. Hij stelt niet alleen voor dat we genoeg hebben aan relativiteit, maar juist daardoor zelfs verder komen.

Volgens de speciale relativiteitstheorie is van alles en nog wat relatief. De uitzondering is de aanname van de constante lichtsnelheid.

Ik vraag me af, of de aanduiding snelheid zo gelukkig is. Althans, snelheid als verhouding tussen afgelegde afstand en verstreken tijd. Want gelden precies die samenstellende factoren niet als relatief volgens de theorie in kwestie?

Daar kom ik niet uit. Maar met een aanname (lees ook: axioma) hoeft dat ook niet. Daarvan is het de vraag of we ermé alweer wat beter uitkomen, pragmatisch.

Er blijven veranderingen met oneindige snelheid verondersteld, maar kleinschaliger. Dat verkleint navenant het putje van verwaarlozing.

Voor zover ik de clou van Einsteins algemene relativiteitstheorie begrijp, gaat het om veralgemenisering van de werkingssfeer van zwaartekracht. Dat betreft dan vooral een kritiek op Newtons wet van de zwaartekracht.

Op zijn beurt is een teken ook weer ... iets en als zodanig onderhevig aan die kracht. Daarom vertoont (ook) electro-magnetische straling een buiging enz. onder invloed van een (andere) massa.

Terwijl de speciale relativiteitstheorie zich laat duiden als zoiets als semiotisering van de natuurkunde, voegt de algemene relativiteitstheorie niets aan die paradigmawissel toe. Het lijkt er meer op, dat Einstein met de relatieve theorie zodanig gewijzigde verhoudingen voorstelt, dat hij voor nieuw evenwicht de algemene theorie ontwerpt waardoor tevens het middel voor betekenis netzo consequent als een fysiek iets opgevat wordt ... dat wederom slechts door tekens waarneembaar is.

Begrijp ik het nu? Nee, waaróm het zo zit, weet ik zelfs steeds minder. En dat ik Einsteins – aannames met zijn – relativiteitstheorieën volkomen verkeerd interpreteer, krijg ik vast en zeker ingepeperd zodra een heuse natuurkundige dit opstel leest en ‘zo vriendelijk is’ om deskundige kritiek te leveren. Hoe het zit, zal ik dus ook wel gemankeerd toegelicht hebben. Zo ben ik er allesbehalve gerust op de variabele ruimtelijke waarneming onder omstandigheden van beweging adequaat gevat te hebben. Maar een passende verklaring op semiotische basis acht ik hoe dan ook verhelderend. Wie verbetert deze poging?

Over de speciale relativiteitstheorie raadpleegde ik lemmata in enkele encyclopedieën, alsmede:
Einstein, A. *Relativitätstheorie*, Vieweg, 1956, oorspronkelijk 1916.
Freudenthal, H., *Inleiding tot het denken van A. Einstein*, Born, 1952.
Smilga, V., *Relativity and man*, Progress, 1964.

Op bovenstaande tekst in conceptversie gaf M. Houtman prompt een beknopt, verhelderend commentaar dat ik hier met mijn dank ervoor graag toevoeg:

“Het relativiteitsprincipe is dat de natuurkundige wetten in gelijkwaardige referentiesystemen dezelfde zijn. Dit uitgangspunt telt zowel voor Galilei als voor Einstein. Alleen gebruikt Einstein andere (gelijkwaardige) referentiesystemen dan Galilei, vanwege de eis dat de lichtsnelheid in de referentiesystemen constant moet blijven. Daarmee is in het kort de speciale relativiteitstheorie samengevat. Op dezelfde manier heeft Einstein de gravitatiewet van Newton omgezet in de algemene relativiteitstheorie, waarbij geen eenparige bewegingen maar versnellingen in zwaartekrachtvelden bekeken worden.

Jij bekijkt het in het licht van tekenoverdracht, terwijl in de relativiteitstheorie de nadruk ligt op de afgeleide referentiestelsels met gelijke natuurwetten. Hoe die natuurwetten het gevolg zijn van het uitwisselen van ‘tekens’ wordt niet besproken, ze volgen simpelweg uit de constante lichtsnelheid. Je probeert dus iets te bespreken waar de relativiteitstheorie stopt. In de quantummechanica is er uitwisseling van deeltjes, maar dan kom je op relativistische quantummechanica waar Einstein zelfs moeite mee had.”

december 2013 – januari 2014, webeditie 2014 © Pieter Wisse