

Open podium

Brieven van lezers
brieven@nieuwarchief.nl

De uitvinding van de relativiteitstheorie

Eigenlijk heb ik weinig interesse in prioriteitenkwesities. Ideeën zijn vaak bij verschillende onderzoekers ontstaan en verspreiden zich door conferenties en persoonlijke contacten. “Het zat in de lucht” zegt men dan. Dat gold bijvoorbeeld voor minimaliseringsconcepten voor randwaardeproblemen in de negentiende eeuw die later een functionaalanalytische grondslag zouden krijgen. A.F. Monna [10] heeft daar een gemakkelijk boek over geschreven. “Het zat in de lucht” geldt natuurlijk niet voor alle concepten en ideeën die zijn uitgevonden, denk bijvoorbeeld aan bepaalde zeer originele resultaten en vermoedens die we aan Riemann te danken hebben.

Een geval dat nog iets anders ligt is de relativiteitstheorie. De grote aandacht in de pers die sinds de jaren twintig van de vorige eeuw onverminderd doorgaat, de behoefte aan een held bij journalisten en het grote publiek, heeft Albert Einstein (1879–1955) tot icoon van de wetenschap gemaakt. Dat hij veel had van het beeld van de geniale Europese professor, een interessant uiterlijk had en af en toe een slecht humeur, ook faux pas in interviews maakte, deed allemaal geen kwaad. Zie de uitzonderlijk interessante biografie [3] waarin zowel het wetenschappelijke als publieke leven van Einstein uitvoerig en gedocumenteerd wordt weergegeven. Einstein was ongetwijfeld een geniaal fysicus maar ook een ideale figuur om te worden gehypet door journalisten en popularisatoren van de wetenschap. De meeste Angelsaksische journalisten en wetenschappers zijn bovendien de andere Europese talen niet machtig, dat gaf al meteen een eenzijdige invalshoek. Zelfs in het Nieuw Archief schreef Klaas Landsman [4] in een overigens prachtig artikel over zwarte gaten en het werk van Roger Penrose: “Einsteins speciale relativiteitstheorie uit 1905.”

Een opmerking tussendoor. In de titel van dit verhaal staat ‘uitvinding’. Dat is gebaseerd op de visie dat de werkelijkheid beschreven wordt en niet een-op-een met die beschrijving samenvalt, hoe nauwkeurig die beschrijving ook is. Onze beschrijvingen zijn modelmatig en niet de werkelijkheid zelf. Ik hoorde eens een hoogleraar natuurkunde spreken over “de quantummechanica die de wetten van de natuur beschrijft”. Dat is natuurlijk onzin, het begrip ‘wet’ werd gebruikt in de Griekse filosofie en door religieuze leiders, het heeft geen plaats in de mathematische fysica. Ik sluit me hierbij overigens aan bij Henri Poincaré (1854–1912) die het begrip uitvinding vooral op wiskunde toepaste, zie [13].

De relativiteit van beweging werd al in de zeventiende eeuw opgemerkt door Galileo en Huygens, maar het echte verhaal over

de relativiteitstheorie begint met Hendrik Antoon Lorentz (1853–1921). Er bestond een duidelijk stijlverschil tussen het werk in de elektrodynamica van Maxwell en dat van de continentale theoretische fysici. De continentale fysici hadden een voorkeur voor een meer systematische afleiding uit basisprincipes. Lorentz nam de taak op zich om de elektrodynamica van Maxwell van een degelijker grondslag te voorzien en deze sterk uit te breiden. Daarbij speelde het idee van de *aether* nog steeds een wat kunstmatige rol, zie de omvangrijke in het Frans geschreven publicatie [5] uit 1892. In hetzelfde jaar van de publicatie [5] oppert Lorentz in [6] (in het Nederlands geschreven) zijn idee van contractie van lengte ter verklaring van de mislukte pogingen om beweging van de Aarde ten opzichte van de *aether* aan te tonen. Een voorwerp met lengte L dat met snelheid v ten opzichte van de waarnemer beweegt zal voor deze de lengte

$$\frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

hebben; hierbij is c de lichtsnelheid. Deze contractie was nodig om de experimenten van Michelson en Morley te verklaren die geen verschil in lichtsnelheid vonden in interferentielijnen bij proeven in verschillende richtingen ten opzichte van de beweging van de Aarde. Lorentz stelt in [6] deze contractie als oplossing maar breekt zich het hoofd over de mogelijke moleculaire krachten die dit te weeg kunnen brengen.

In [7] komt Lorentz nog eens terug op de talrijke verklaringen die zijn voorgesteld voor het Michelson–Morley-experiment; bij die verklaringen worden allerlei veronderstellingen over de *aether* gemaakt. Hij concludeert dat zijn verklaring waarbij contractie van lengte bij beweging ten opzichte van een waarnemer plaatsvindt er geen rol aan de *aether* is toebedeeld en nog steeds de meest bevredigende verklaring is. Lorentz merkt op dat ook Fitzgerald tot deze conclusie is gekomen.

Interessant is dat de contacten tussen Lorentz en Poincaré een blijvend karakter hadden. Lorentz beroept zich in [5] ook op een argumentatie van Poincaré uit 1890 die te vinden is in diens collegedictaten, zie de lijst in [14, p.252]. De contacten tussen Lorentz en Poincaré bleven van belang, in 1900 hield Poincaré een voordracht in Leiden ter gelegenheid van het 25-jarig jubileum van de doctorsgraad van Lorentz. In een aantal artikelen verwijzen de twee wetenschappers naar elkaar.

Een grote stap doet Lorentz in 1904 met publicatie [8]. Bij de beschrijving van de beweging in de x -richting van een geladen

deeltje, in die tijd meestal ‘electron’ genoemd, ten opzichte van een waarnemer voert Lorentz een transformatie $x, y, z, t \mapsto x', y', z', t'$ in van de vorm:

$$x' = kl(x + \varepsilon t), \quad y' = ly, \quad z' = lz, \quad t' = kl(t + \varepsilon x). \quad (1)$$

De transformatie (1) is geparametriseerd door k, l met:

$$k = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

waarbij c de lichtsnelheid is en v de snelheid van het bewegend object ten opzichte van de waarnemer. De parameter l is niet bepaald, maar Lorentz geeft argumenten voor de keuze $l = 1$. Het idee van de transformatie van positie-coördinaten en tijd sluit aan bij Lorentz eerdere ideeën geformuleerd in [6] en [7], maar de noodzakelijke verandering van de tijd in een inertiaalstelsel dat beweegt ten opzichte van de waarnemer, is een van de meest revolutionaire conclusies van alle tijden. Het gaf veel verwarring, maar ook interessante sf-verhalen, tevens protesten bij theologen die dit niet konden rijmen met een godsbeeld waar de tijd in het heelal relatief is.

Op 5 juni 1905, in [12] merkt Poincaré op dat de Lorentz transformaties (1) een groep vormen; de eis van invariantie van de inverse transformatie levert $l = 1$. In de literatuur wordt transformatie (1) de Lorentz–Poincaré-transformatie genoemd, evenzo beide namen voor de bijbehorende groep.

Poincaré merkt verder op dat combinaties van deze transformaties zijn toegestaan en dat deze de kwadratische vorm

$$x^2 + y^2 + z^2 - t^2 \quad (2)$$

behouden. Poincaré voert dan voor de 4-dimensionale x, y, z, t -ruimte de metriek

$$ds^2 = dy_1^2 + dy_2^2 + dy_3^2 + dy_4^2 \quad (3)$$

in met $y_4 = \sqrt{-1}t$ als vierde coördinaat. In de analyse van de meer algemene relativiteitstheorie van Hermann Minkowski [9] in 1908 voert deze overigens dezelfde metriek in.

In [12] merkt Poincaré op dat het onmogelijk is om absolute beweging vast te stellen. Verder dat we het idee van Laplace

moeten laten vallen dat gravitatie zich instantaan voortplant; hij stelt dat gravitatie zich voortplant met de lichtsnelheid. Overigens beredeneerde Poincaré al in 1902 dat er geen absolute beweging van deeltjes bestaat, alleen relatieve, zie [11]. Ginoux noemt in [3] bronnen die duidelijk maken dat Einstein dit essay van Poincaré in zijn studietijd heeft gelezen.

Iets later, op 30 juni 1905, publiceert Einstein zijn artikel [1] over de elektrodynamica van bewegende lichamen. Einstein stelt hier dat er geen absolute beweging is vast te stellen, ook leidt hij formules af voor de contractie van de afmetingen van lichamen die bewegen ten opzichte van een waarnemer, bovendien dat er tijdsverschil optreedt tussen waarnemer en bewegend object. We kunnen wel aannemen dat Einstein het artikel van Lorentz [8] niet gelezen heeft, al lijken zijn resultaten er erg veel op. Een belangrijk punt in [1] is dat het begrip *aether* in de natuurkunde kan worden losgelaten. Lorentz merkt echter in [6] al op dat hij voor het verklaren van het Michelson–Morley-experiment het idee van de *aether* niet nodig heeft. Zowel bij Lorentz als bij Poincaré komt het begrip *aether* in hun definitieve artikelen [8] and [12] niet voor.

Alles bij elkaar genomen had de redactie van de *Annalen der Physik* Einsteins artikel [1] moeten weigeren, ze hadden kennelijk geen kennis van zaken.

Het artikel van Poincaré dat enkele weken eerder verscheen dan dat van Einstein bevat de genoemde informatie in [1] en nog meer, met name de analyse van Lorentz–Poincaré-transformaties en de daarmee samenhangende ruimte–tijd-metriek in variationale context. Opmerkelijk is dat Einstein in zijn belangrijke artikel over de algemene relativiteitstheorie [2] zijn eigen artikel [1] niet noemt maar wel Lorentz-contractie en herhaaldelijk Lorentz-transformatie. Het lijkt me duidelijk dat de speciale relativiteitstheorie van 1905 is ontwikkeld door Lorentz en Poincaré.

In 1921 kreeg Albert Einstein als excellent fysicus terecht de Nobelprijs voor natuurkunde, maar niet voor de relativiteitstheorie.

Ferdinand Verhulst
Mathematisch Instituut
Universiteit Utrecht

Referenties

- 1 A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik* 17 (1905), 891–921.
- 2 A. Einstein, Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, *Annalen der Physik* 49 (1916), 769–822.
- 3 Jean-Marc Ginoux, *Albert Einstein, A Biography Through the Time(s)*, Hermann Editeurs, Paris, 2016.
- 4 Klaas Landsman, Zwarte gaten en het werk van Roger Penrose, *Nieuw Archief voor Wetenschap* 5/23 (2022), 169–172.
- 5 H.A. Lorentz, La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants, *Archives Néerlandaises* 25 (1892), 363–552.
- 6 H.A. Lorentz, De relatieve beweging van de aarde en den aether, *Verslagen der Afdeling Natuurkunde van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 1 (1892), 74–79.
- 7 H.A. Lorentz, Over de vraag of de aarde bij hare jaarlijksche beweging den aether al dan niet medesleept, *Verslagen der Afdeling Natuurkunde van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen* 6 (1897), 266–274.
- 8 H.A. Lorentz, Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences* 6 (1904), 809–831.
- 9 Hermann Minkowski, Die Grundgleichungen für die electromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern, *Nachrichten von der Königlich-Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* (1908), 53–111.
- 10 A.F. Monna, *Dirichlet's Principle: A Mathematical Comedy of Errors and its Influence on the Development of Analysis*, Oosthoek, Scheltema & Holkema, Utrecht, 1975.
- 11 Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, Flammarion, Paris, 1902, hoofdstuk VII.
- 12 Henri Poincaré, Sur la dynamique de l'électron, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* (1905), 1504–1508.
- 13 Henri Poincaré, *L'invention mathématique*, in *Science et Méthode*, Flammarion, Paris, 1908.
- 14 Ferdinand Verhulst, *Henri Poincaré, Impatient Genius*, Springer, 2012.