Referentiekaders, coördinatensystemen, ruimte, tijd en ruimtetijd

Bolcoördinaten zijn niet hetzelfde als gebogen ruimte en referentiekaders zijn niet hetzelfde als ruimtetijd. In de literatuur over Einsteins relativiteitstheorieën worden deze maar al te vaak door elkaar gehaald. We werpen wat licht op deze kwesties, maar hebben niet alle antwoorden.

Eerst het volgende:
Om relativiteitsnatuurkunde te kunnen begrijpen worden wiskundige referentiekaders gebruikt Het meestbekende en meestgebruikte referentiekader is het euclidisch referentiekader. Met dat kader leren de meesten van ons op school wiskunde, vooral meetkunde. Euclidische meetkunde is dus de meetkunde van ruimte die niet gekromd is. Er is ook niet-euclidische meetkunde bijvoorbeeld elliptische en hyperbolische meetkunde, meetkunde van de gekromde ruimte.
Binnen het euclidisch referentiekader kies je een coördinatensysteem (meestal is dat in de ruimte het 3-dimensionale cartesisch coördinatensysteem, met de bekende coördinaatassen x, y, z, die loodrecht op elkaar staan. Locaties binnen referentiekaders worden beschreven door een coördinatensysteem.
Bij de algemene relativiteitstheorie van Einstein wordt gebruikgemaakt van het bolcoördinatensysteem. Het is een driedimensionaal coördinatenstelsel dat vergelijkbaar is met het één dimensie lagere tweedimensionale stelsel met poolcoördinaten. Poolcoödinaten bestaan uit een punt P in het X-Y coördinatenvlak dat wordt gelokaliseerd door 1) *de oorsprong O, de pool* genaamd, en 2) de rechte lijn door O naar het punt P, *de poolas* genoemd. De afstand *r = OP* is dan de ene coördinaat, de andere coördinaat is de hoek *theta θ* tussen poolas en X-as).

Bij het bolcoördinatensysteem is *r* de eerste coördinaat, namelijk de afstand tussen het ruimtepunt P en de oorsprong O van het coördinatensysteem. De tweede coördinaat is *de hoek theta θ* tussen de Z-as (die loodrecht op het X-Y-vlak gaat door O) en r (de rechte lijn door O en P). De derde coördinaat is *de hoek fi φ* tussen de X-as en de projectie van de rechte lijn OP =r op het X-Y vlak. Hoek φ=0 graden als de projectie van r op het X-Y-vlak samenvalt met de positieve X-as.
Als hoek θ = 0 graden dan valt OP=r samen met de Z-as (ruimtepunt P ligt op de Z-as). Als ruimtepunt OP in het X-Y-vlak ligt is hoek theta 90 graden.

De 3D-ruimte om ons heen en verder in het universum bestaat uit drie dimensies, lengte bv de X-as, breedte bv de Y-as en hoogte bv de Z-as. De natuurkundige Newton beschouwde die *ruimte* maar ook de *tijd t* als twee afzonderlijke absolute entiteiten.
Einstein echter kwam in zijn algemene relativiteitstheorie, gebaseerd op een vierdimensionale (4D) structuur, met de idee om beide entiteiten te verenigen in *ruimtetijd.*
Hij poneerde dat ruimtetijd de aangewezen 4D-structuur van het universum was, waarin de drie ruimte dimensies van ons universum samen met de tijd geïntegreerd zijn in een (wiskundig) model. Deze vereniging van ruimte en tijd had dus zijn basis in Einsteins algemene relativiteitstheorie. Einstein noemde in zijn publicaties een ruimtetijdpunt (t, x, y, z) dan ook zijn vierschaar.

De algemene relativiteitstheorie van Einstein verklaart dat de “krachtwerking” van Newtons zwaartekracht eigenlijk het resultaat is van een kromming van ruimtetijd, oftewel dat die kromming van ruimtetijd de geometrie van ruimtetijd verandert en daardoor de baan van bewegende massa-energie beïnvloedt.
Maar wat veroorzaakt de kromming van de ruimtetijd?
Dat is de aanwezigheid van (grote) massa. Die zorgt voor de kromming van de ruimtetijd. Een grote massa als de Zon vervormt de geometrie van de ruimtetijd zodanig dat de planeten met hun eigen baansnelheid stabiel in hun baan blijven. Beknopter gezegd: massa vervormt ruimtetijd en andersom ruimtetijd vertelt hoe en met welke baanvorm massa-energie (bijvoorbeeld sterren, planeten en ook licht) zal bewegen.

De planeet Mercurius, die het dichtst bij de Zon staat en een ellipsvormige baan daaromheen beschrijft, vertoont een merkwaardige afwijking van zijn omloopbaan. Dit is de periheliumprecessie. Deze is niet goed verklaarbaar met Newtons zwaartekrachttheorie. Het perihelium is het uiterste ruimtepunt van de ellipsbaan van Mercurius, dat het dichtst bij de Zon ligt. Het blijkt dat de gehele ellipsbaan in dezelfde richting draait als Mercurius beweegt in zijn baan om de Zon. Met een draaiingsas, loodrecht op het baanvlak van Mercurius, in het zonnebrandpunt van de ellipsbaan. In 100 jaar levert dat na 415 omlopen rond de Zon ongeveer een verdraaiing van 43 boogseconden op

van de lange as van de elliptische omloopbaan van Mercurius, waardoor het perihelium-ruimtepunt verdraait.
Het blijkt een effect dat niet te verklaren is met de zwaartekrachttheorie van Newton, maar wel met de algemene relativiteitstheorie van Einstein. Het eindresultaat is een draaiende en ook spiraliserende baan van Mercurius in de tijd. Einsteins theorie blijkt de juiste oplossing van het periheliumprecessie-probleem te geven. Inmiddels zijn de toepassingen van algemene relativiteitstheorie in ons leven niet meer weg te denken. Zonder deze theorie is nauwkeurige plaatsbepaling op Aarde met GPS-navigatie-apparatuur via satellietverbindingen niet precies genoeg mogelijk.

Albert Einstein theoretiseerde dat de gekromde ruimtetijd als gevolg van de aanwezigheid van grote massa gebogen ruimtebanen veroorzaakt. In 1919 toonde Arthur Eddington aan dat sterrenlicht langs de Zon inderdaad werd afgebogen van zijn rechte baan door onze zonsmassa. Het verschijnsel was waarneembaar bij een zonsverduistering, dat hij vastlegde op fotografische platen. Hij gebruikte daarbij verre sterren als het euclidisch referentiekader waarin de baan van het sterrenlicht gebogen werd. Met andere woorden, ruimtetijd kromt zich ten gevolge van (grote) massa, terwijl massa(deeltjes) en licht veroorzaakt door gekromde ruimtetijd langs gekromde paden bewegen, binnen een euclidisch referentiekader, getheoretiseerd door Einstein en aangetoond door Arthur Eddington. Hij was een van de eerste natuurkundigen die Einsteins relativiteitsideeën begreep.

De meestgebruikte ruimtelijke coördinatenstelsels in Einsteins relativiteitstheorie zijn het cartesische en het polaire coördinatenstelsel. Einstein gebruikte zelf cartesische coördinaten (x,y,z), terwijl Karl Schwarzschild polaire coördinaten gebruikte. Bij publicaties van zijn werk gebruikte Karl Schwarzchild de naam van polaire coördinaten, maar feitelijk heten het bolcoördinaten (r,θ,φ), die hij gebruikte voor zijn berekeningen van Einsteins veldvergelijkingen.

De bolcoördinaten worden vaak verward met gebogen ruimte. Bolcoördinaten beschrijven niets anders dan ruimtelocaties (zoals hierboven beschreven).
Omdat zowel cartesische als bolcoördinaten binnen hetzelfde euclidische referentiekader kunnen worden gedefinieerd, kan een locatie in het ene coördinatenstelsel (bijvoorbeeld x,y,z) worden omgezet in coördinaten van het andere systeem (bijvoorbeeld (r,θ,φ). De natuurkundige berekeningen mogen natuurlijk niet door een dergelijke verandering van coördinatenstelsel foutieve resultaten geven. De formules moeten dus onafhankelijk zijn van de keuze van de coördinaten, zodat bij transformaties daarvan de natuurkundige resultaten onveranderd blijven. Dat is Einsteins ”covariantieprincipe”. Dit is precies wat Karl Schwarzschild deed.
Elke locatie ligt dus binnen een euclidisch referentiekader, *waarbinnen* de ruimte zelf kan worden gebogen door (grote) massa. De kromming van de ruimte wordt dan bijvoorbeeld opgemerkt door de gekromde baan van licht of van massadeeltjes binnen dit euclidisch referentiekader. Het zijn dus ruimtecurven ten opzichte van een euclidisch referentiekader (in de sterrenkunde vaak de achtergrondsterren of de achtergrondstraling van de “Big Bang”). De gekromde lichtbaan wordt dan waargenomen en fotografisch vastgelegd wanneer tijdens een zonsverduistering licht van een verre ster vlak langs de Zon beweegt. De ster aan het firmament is schijnbaar van zijn “vaste” plaats verschoven.

Tijd verenigen met ruimte: ruimtetijd

Gebeurtenissen worden gedefinieerd door locaties in de ruimte en de tijd, Einstein verenigde die twee entiteiten met elkaar tot het begrip ruimtetijd. Ruimtetijd is geen magie, het voegt alleen de variabele “t”, de tijd, toe aan een driedimensionaal coördinatenstel en vormt zo een vierdimensionaal continuüm, bijvoorbeeld: een cartesisch (t, x, y, z) of een bolvormig (t, r, θ, φ). Gebeurtenissen worden dus gedefinieerd door ruimtetijdlocaties.
Het interessante is dat tijd in een aantal aspecten vergelijkbaar is met de ruimte en als zodanig gelijkwaardig wordt behandeld in de natuurkundige berekeningen.
Bij het natuurkunde-experiment met twee spleten worden lichtdeeltjes een voor een naar de spleten gestuurd. Daardoor ontstaat op een fotografische plaat achter de spleten een interferentiepatroon van licht en donker dat veroorzaakt wordt door de interactie van de deeltjes bij doorgang van beide spleten voor wat betreft plaats en tijd. *De tijd* heeft een vergelijkbare invloed op het interferentiepatroon als de *plaats* in de vorm van *de spleetruimten*.
Wiskundigen breiden vierdimensionale ruimten zonder aarzeling uit tot vijf of meer dimensies, waarbij bijvoorbeeld energie of temperatuur worden toegevoegd.
Fysici echter baseren zich op meeteenheden, ze hebben identieke meeteenheden nodig. Meters zijn bijvoorbeeld niet op te tellen bij seconden. Einstein vermenigvuldigde de tijd “t” daarom met de

lichtsnelheid (“c”), waardoor “c.t” meetbaar is in meters, (meter/seconde maal meter) net als de afstanden uitgedrukt in meters bij de “x”, “y en “z”. Natuurkundigen hebben dus ruimtetijdlocaties beschreven door (ct,x,y,z) of (ct,r,θ,φ) uitgedrukt met de eenheden meter en radiaal.
In Einsteins algemene relativiteitstheorie wordt ook de tijd op dezelfde manier behandeld als de ruimte, met verbazingwekkende resultaten. Vanuit het oogpunt van de natuurkunde kunnen de natuurwetten het best worden beschreven in een vierdimensionale ruimtetijd. Wij, de auteurs, zijn uiteindelijk met onze theorie in staat gebleken om de gelijkwaardigheid van ruimte en tijd aan te tonen met de formule $r_4 = c.t / \pi$ [m], waarbij “c” de lichtsnelheid, “t” de tijd en “r_4 “de straal is van een zogenoemde *3-Bol:* dat is een *hyperbol* ingebed in een *4-Dimensionale dimensionale euclidische ruimte.* Ons onderzoek naar de massaverdeling in het universum heeft ertoe geleid dat op dit moment volgens de auteurs de *3-Bol* het beste model is dat de universum-werkelijkheid weergeeft. Het *3-dimensionale “oppervlaktevolume” van de 3-Bol met “universumstraal” r_4 is gelijk aan* $2\pi^2 r_4^3$ [m^3].
Ook Einstein had reeds dat inzicht, want hij gebruikte dezelfde formule van het oppervlaktevolume (het hyperoppervlak) voor zijn berekening van de totale massa van het universum met $r_4 = R_4$. Maar hij koppelde de straal R_4 van het universum *niet* zowel aan onze tijd t_{nu} als r_4 aan de kosmische tijd t_{cosm} uit het verleden. (Zie het boek van Einstein en anderen: The Principle of Relativity, blz.187-formule 15, Dover Publications, Inc. en ook ons boek 'Repairing Robertson-Walker's Solution').

We kunnen ons dit merkwaardige oppervlaktevolume proberen voor te stellen als een bolschil(model) met 4-D-massapunten (het *hypothetisch middelpunt van de 3-Bol met de straal r_4 is geen massapunt* en hoort niet bij het oppervlaktevolume. Denk daarbij aan een opgeblazen ballon die als bolschilmodel fungeert. Wiskundig hebben we te maken met een directe projectie van de *3-Bol* in een “gewone” Euclidische 3-D-ruimte met een oppervlakteraster en met een structuur van een stapel concentrische 3-D-bollen als functie van de staal r_4. Anders gezegd: Bij ons model worden in het *3-Bol-oppervlaktevolume* de puntposities van alle massaconfiguraties in het universum (van galactische nevels tot atomen) als 4-D-ruimtepunten vastgelegd, gelegen op grootcirkels met een constante straal r_4 tot de oorsprong*, het hypothetisch middelpunt van de 3-Bol als universummodel*. De grootte van r_4 wordt bepaald door de kosmische tijd t_{cosm} uit het verleden, waardoor een kleinere *“tijd 3-Bol”* ontstaat. (Zie onderstreepte formule van r_4 hier boven). Onze andere artikelen geven hierover meer uitleg en illustratie.
Opmerking: in “het nu” is de variable r_4 gelijk aan R_4 en blijft constant in de tijd met meebewegende coördinaten, waarbij alleen de *eenheid meter [m]* toeneemt in de tijd.
Wij leven dus in het “nu-universum” met universumstraal $R_4 = c/\pi H$ [m_{2000}] met c=lichtsnelheid en H=universele Hubble-constante (met R_4 in metereenheden van het jaar 2000) samen met massapunten (alle massa die er is in het universum) in het 3-dimensionale euclidische *hyperoppervlaktevolume* $V = 2\pi^2 R_4^3$ [m_{2000}^3] van de *3-Bol*. Beide formules uitgedrukt in meebewegende coördinaten. Zie daarvoor verder ons boek “Repairing Robertson-Walker's Solution”.

Met in gedachten het *3-Bol model* leven we in de werkelijkheid midden in de ruimte op de rand van de tijd.
.

Einstein en Noether

Emmy Noether, een Duits wiskundige, leverde baanbrekende bijdragen aan de theoretische natuurkunde, zoals de naar haar genoemde stelling van Noether. Zij bewees haar stelling in 1915, die werd gepubliceerd in 1918, twee jaar na de formele publicatie van Einsteins algemene relativiteitstheorie. De stelling van Noether beschrijft hoe symmetrieën leiden tot wetten in de natuurkunde die geen verandering ondergaan bij transformaties, oftewel invariant zijn: de behoudswetten.
Het betekent dat de natuurkundewetten overal hetzelfde moeten zijn (bijvoorbeeld de wet van behoud van energie en de wet van behoud van impuls). Om precies te zijn: wanneer een ruimtetijd referentiekader (ct, x, y, z) of (ct, r, θ, φ) overal hetzelfde is, dat wil zeggen hetzelfde in alle richtingen, en hetzelfde in de loop van de tijd, er energie-en impulsbehoud kan worden bewezen. Dat is een krachtig rekeninstrument voor natuurkundigen. Energie- en impulsbehoud zijn bijvoorbeeld cruciale instrumenten bij CERN. Ze kunnen er niet zonder. Het neutrino en het Higgs-deeltje kunnen alleen worden bewezen als ze steunen op zowel energie- als impulsbehoud. Ook het “perfecte kosmologisch principe” van kosmologen en fysici houdt vast aan de stelling van Noether: alleen wanneer een model van het universum homogeen is (overal hetzelfde), isotropisch (hetzelfde in alle richtingen), en de wetten van de natuurconstanten in de loop van de tijd hetzelfde blijven, kunnen energie- en impulsbehoud worden bewezen.

Je kunt vervolgens de vraag stellen: hoe is de stelling van Noether gerelateerd aan Einsteins algemene relativiteitstheorie?
Ruimtetijdcurven (ook wel geodeten genoemd) die ontstaan zijn door aanwezigheid van bijvoorbeeld onze zonmassa zijn bijvoorbeeld de gekromde banen (ellipsen en parabolen) van onze planeten, satellieten en kometen binnen een euclidisch referentiekader uitgedrukt in cartesische of bolcoördinaten. Einsteins kromming is relatief ten opzichte van een euclidisch referentiekader. In de formules wordt de kromming zelf gedefinieerd als een kleine verandering, aangegeven door de letter d voor de coördinatensymbolen te plaatsen, die gerelateerd zijn aan elkaar: de differentialen (bijvoorbeeld dx, dy, dz). Ook de *coördinaatverschillen* in cartesische coördinaten kunnen worden omgezet in *de verschillen in bolcoördinaten* zoals dr, dθ, dφ en vice versa.
Dit betekent dat de Schwarzschild-oplossing van Einsteins veldvergelijkingen kan worden uitgedrukt in zowel *bolcoördinatenverschillen* (zoals gewoonlijk), en ook in cartesische *coördinatenverschillen*; zie de Schwarzschild-formules in de appendix.

Keuze van het coördinatenstelsel

Een referentiekader is dus altijd euclidisch voor natuurkundigen, maar welk coördinatenstelsel gebruik je? De keuze is aan jou. Einstein eiste echter dat de keuze van het coördinatenstelsel de wetten van de natuurkunde niet mag veranderen. Je maakt het jezelf gemakkelijk door de oorsprong in het massacentrum van een bolvormig object samen met bolcoördinaten te kiezen. Dat is wat Karl Schwarzschild deed. Maar het is geen vereiste.
Irwin Shapiro (inmiddels 92 jaar) is een gerespecteerd Amerikaans astrofysicus. Hij voerde in 1964 een observatietest uit waarbij hij radarstralen *met en zonder* invloed van de zwaartekracht van de Zon, oftewel *met en zonder* de kromming van de ruimtetijd door de Zon, heen en weer liet kaatsen tussen Venus en de Aarde. Zonder invloed van de zwaartekracht van de Zon was het natuurlijk alleen een wiskundige berekening.
Hij voorspelde dat er een tijdvertraging zou moeten optreden. En Shapiro toonde deze verwachte tijdvertraging *met* invloed van de Zon inderdaad aan. Voor onze theorie blijkt die zwaartekracht-tijdvertraging van Shapiro een belangrijk resultaat. In zijn berekeningen koos Shapiro echter voor een cartesisch coördinatenstelsel met de oorsprong op Aarde in plaats van in het centrum van de Zon. Dit is verbazingwekkend, omdat hij eigenlijk de invloed van de zwaartekracht van de Zon op een radarsignaal op het traject Venus - Aarde onderzocht. Of zoals je wilt de *ruimtetijdkromming* van de radargolven door invloed van de Zon.
Waarom Shapiro deze keuze heeft gemaakt is niet duidelijk. Misschien door een verkeerde uitkomst van zijn experiment bij het gebruik van Schwarzschild's-oplossing. Verkeerde uitkomst? Ja, in de Schwarzschild-oplossing is de invloed van een verandering *in radiale richting 'dr'* anders dan de vorm van een verandering *in transversale richting "r.dθ".* Met andere woorden, wanneer het verzonden radarsignaal de Zon passeert, verschilt de invloed van de Zon tussen enerzijds wanneer je Schwarzschilds bolcoördinaten gebruikt met de oorsprong in het massacentrum van de zon en anderzijds wanneer je Shapiro's cartesische coördinaten gebruikt met de oorsprong op Aarde. Dat zou de alarmbellen moeten doen rinkelen bij alle fysici! Dat is immers tegen Einsteins covariantieprincipe!

Wie heeft het mis, Shapiro of Schwarzschild?
Shapiro had gelijk, de gemeten uitkomst bewees zijn gelijk; de later naar hem genoemde "Shapiro-vertraging". Maar is de Schwarzschild-oplossing van de algemene relativiteitstheorie dan verkeerd? Ja, de Schwarzschild-oplossing is inderdaad verkeerd. Heeft Karl Schwarzschild een fout gemaakt in 1916? Niet die hem aan te rekenen is, hij volgde Einsteins theorie tot op de letter. Schwarzschild gebruikte echter de eerste versie van de algemene relativiteitstheorie zoals die in november 1915 door Einstein werd gepresenteerd.

In onze theorie hebben wij vastgesteld dat bij de Schwarzschild-oplossing alleen in de radiale richting de lichtsnelheid constant blijft. Dus niet in de θ-richting en de φ-richting. Dat is in tegenstelling met de oplossing van Shapiro. Daarom had Shapiro gelijk.

In die eerste (voorlopige) versie van zijn algemene relativiteitstheorie is er één vergelijking $g = -1$, (de zogenoemde waarde van de determinant van de metrische tensor, een 4X4-matrix) die pas later, in de maand mei 1916, door Einstein *optioneel* werd gemaakt. Karl Schwarzschild gebruikte als gevolg daarvan de (verkeerde) voorlopige november 1915-versie, maar hij vond zelf vrij snel daarna zijn eigen oplossing van Einsteins veldvergelijking, die hij op 13 januari 1916 publiceerde.
Dat had alles te maken met de coördinatentransformatie van stelsel (x,y,z) naar stelsel (r,θ,φ). Een klein volume-element is het product van (dx.dy.dz) van het cartesische coördinatensysteem.
(zie appendix A in boek "Repairing Schwarzschild's Solution".)

Dit volume-element week af na transformatie naar het *bolcoördinatensysteem* met het productvolume (r^2.sinθ.dr.dθ.dφ). De afwijking was de factor (r^2.sinθ). Voor een oplossing van dit probleem paste Karl Schwarzschild de truc toe door het invoeren van de hulpvariabelen "x_1"en x_2" plus het toevoegen van de tijd "t"-variabele "x_3" zodat het getransformeerde product (r^2.sinθ.dr.dθ.dφ) gelijk werd aan het hulpvariabelenproduct ($dx_1.dx_2.dx_3$) door een geschikte keuze van die hulpvariabelen. En daarmee gaat het volume-element (dx,dy,dz) correct over van het cartesische coördinatensysteem via de transformatie naar het bolcoördinatensysteem naar ($dx_1.dx_2.dx_3$).
Met de nieuwe hulpvariabelen en de bolcoördinaten omzeilde Karl Schwarzschild het probleem en zorgde hij ervoor dat voldaan werd aan Einsteins eis van g = –1.(zie ons boek "Repairing Schwarzschild's Solution").

Had Karl Schwarzschild zijn oplossing, gebruikmakend van Einsteins 1915-versie, na mei 1916 kunnen corrigeren? Nee, dat kon hij niet, hij stierf op de dag dat Einsteins officiële versie werd gepubliceerd.
Waarschuwde Noether Einstein voor het probleem met zijn algemene relativiteitstheorie? Ja, dat deed ze.
Wat kan Einstein ertoe hebben bewogen om die "schadelijke" vergelijking g = –1 later te veranderen in een optionele vergelijking? Het facultatief maken van die vergelijking is inderdaad een noodzakelijke stap om volgens Noether energiebehoud te garanderen. Maar het blijkt helaas nog niet voldoende. Er zou een alternatieve vergelijking nodig zijn om de algemene relativiteitstheorie oplosbaar te maken voor zelfs de eenvoudigste omstandigheden: "het zwaartekrachtveld van een massapunt". Waarom heeft Einstein niet gewoon g = –1 vervangen door de stelling van Noether? We zullen het nooit weten. Het eindresultaat is een tekortkoming/fout in de algemene relativiteitstheorie en daarmee ook in Schwarzschild's oplossing, die tot nu toe niet werd gecorrigeerd.

Noether-Einstein-relativiteit

Laat het duidelijk zijn, het Shapiro-experiment bewijst ook dat de Schwarzschild-oplossing in strijd is met het covariantieprincipe van Einstein. Een nieuwe Schwarzschild-oplossing is eenvoudig te repareren door het "Φ-effect" eenvoudig ook toe te passen in de niet-radiale richtingen (zie hiervoor de Appendix). Er is bewezen dat het Shapiro-experiment na veel andere experimenten correct is gebleken (Hafele-Keating en anderen). Dus de aanpassing toepassen op de transversale richtingen van bol: r.dθ en r.sinθ. dφ of van cartesiaans: dy en dx). Dat is wat wij als auteurs hebben gedaan, na lang speur- en rekenwerk. Op deze manier kan de door ons *gerepareerde* Schwarzschild-oplossing de Shapiro-vertraging eveneens verklaren (zie ons boek 'Repairing Schwarzschild's Solution").
Op dezelfde manier kan de Robertson-Walker-oplossing worden gerepareerd om te voldoen aan de stelling van Noether (zie ons boek "Repairing Robertson-Walker's Solution").
De vraag blijft hoe Einsteins theorie moet worden gecorrigeerd. Dat is niet zo'n gemakkelijke oefening. Het probleem is dat de oorspronkelijke vergelijking g = –1 de tensorvergelijkingen in de formule 44 van zijn artikel "De grondbeginselen van de algemene relativiteitstheorie" veel gemakkelijker zou maken. Er zijn briljante wiskundigen nodig om een nieuwe formule 44 uit te werken, maar wel met de stelling van Noether en niet met de "vereenvoudigingen" van de vergelijking g = –1, die veel verwarring hebben gegeven. Heeft misschien Einstein daarom niet de noodzakelijke moeite genomen om zijn algemene relativiteitstheorie met behulp van Noethers theorie af te maken?

Gevolgen

Einsteins algemene relativiteitstheorie is een bijzonder knappe maar moeilijke wiskundige theorie. Helaas ook onvoltooid. Het brengt zijn theoretisch natuurkundige opvolgers in een lastig parket. Fysici als Arthur Eddington werden geconfronteerd met een probleem: gebruik je de vergelijking g = –1 nu wel of niet? Het is immers optioneel. Door wel gebruik te maken van de vergelijking kom je in de problemen met de stelling van Noether en met Einsteins covariantieprincipe. Dus besloten Einsteins opvolgers zoals Eddington deze vergelijking niet te gebruiken. Zoals wiskundigen je echter zullen vertellen, los je bij het verliezen van een vergelijking de onbekenden van het probleem niet op. Met andere woorden, het niet gebruiken van g = –1 maakt het eenvoudigste zwaartekrachtveld, het veld van een massapunt, onoplosbaar.Wat deed Eddington in 1922? Hij liet het "achtervoegsel", in de vorm van een accent onderaan de gekozen variabelen, vervallen nadat hij ze enkele regels daarvoor arbitrair had gesubstitueerd. Zie ons boek "Repairing 'Schwarzschild's Solution". Hij gebruikte taal om de transversale termen gelijk te maken aan één. Dit lijkt op de truc van Karl Schwarzschild om g = –1 te maken. De ironie is dat Eddingtons actie om het "achtervoegsel" te laten vervallen als effect had dat de absolute waarde van de determinant van de metrische tensor toch g = –1 werd, zichtbaar in

cartesische coördinaten. Dus, Eddington bedroog met semantiek, terwijl hij gewoon de optionele vergelijking g = –1 had kunnen gebruiken. De schuld ligt dan niet bij hem, maar bij Einstein.
Wat deden latere auteurs zoals Misner, Thorne en Wheeler in 1975? Zij schreven in hun lijvig boekwerk iets dergelijks namelijk “dropping the primes” in navolging van Eddingtons truc. Geen enkele auteur is tot nu toe met een betere en correcte oplossing gekomen, met het besef dat de huidige algemene relativiteitstheorie in feite onoplosbaar is als de stelling van Noether niet wordt nageleefd.

Samenvatting

Het covariantieprincipe van Einstein en Noethers stelling zijn beide briljant. Shapiro's experiment bewijst dat de huidige Schwarzschild-oplossing feitelijk verkeerd is volgens zowel het covariantieprincipe als volgens de stelling van Noether. De essentie van het probleem is de verwarring tussen euclidische referentiekaders en gebogen ruimtetijd. Het verschil tussen coördinatensysteem-transformaties en transformaties van coördinatenverschillen maakt de problemen erger. De algemene relativiteitstheorie is uiterst ingewikkeld en het toevoegen van de stelling van Noether daaraan kan nu nog een wiskundige brug te ver zijn. Vanaf nu moeten we kijken naar de succesvolle oplossingen en vervolgens de bestaande oplossingen zodanig repareren dat ze in lijn komen met de stelling van Noether. De toekomst zal dat leren.

Meer weten? Voor de boeken en andere artikelen zie www.loop-doctor.nl

Auteurs

MSc. Rob Roodenburg (auteur), MSc. Frans de Winter (coauteur), MSc. Oscar van Duijn (coauteur), MSc. Maarten Palthe (coauteur), MSc. Henk van de Hulst (coauteur). Alfred M. Jacobsen (redacteur)

Schiedam, Nederland

November 2021

Appendix: Schwarzschild-oplossing

$ds^2 = \Phi.c^2.\ dt_\infty^{\,2} - dz^2 / \Phi - dy^2 - dx^2$	*huidige* Schwarzschild-oplossing (cartesische verschillen)
$ds^2 = \Phi.c^2.\ dt_\infty^{\,2} - dr^2/ \Phi - r^2\, d\theta^2 - r^2 \sin^2\theta\, d\varphi^2$	*huidige* Schwarzschild-oplossing (bolcoördinaatverschillen)
$ds^2 = \Phi.c^2.\ dt_\infty^{\,2} - dz^2 / \Phi - dy^2 / \Phi - dx^2 / \Phi$	*gerepareerde* Schwarzschild-oplossing (cartesische verschillen)
$ds^2 = \Phi.c^2.\ dt_\infty^{\,2} - dr^2/ \Phi - r^2\, d\theta^2/ \Phi - r^2 \sin^2\theta\, d\varphi^2/ \Phi$	*gerepareerde* Schwarzschild-oplossing (bolcoördinaatverschillen)
$\Phi = 1 - R_s / r$	gravitatiepotentiaal (R_s is de Schwarzschild-straal)
dt_∞	is het tijdsverschil zoals gemeten van verre (Schwarzschilds specificatie)
$ds = c.dt_0$	(Einsteins specificatie in paragraaf 4 van Einsteins boek The Principle of Relativity), dt_0 is het juiste tijdsverschil