

Zijn zwaartekrachtgolven meetbaar?

Albert Einstein publiceerde in 1915 zijn theorie over de zwaartekracht: de algemene relativiteitstheorie. In eerste instantie waren wetenschappers skeptisch over de nieuwe theorie van Einstein, maar dat veranderde toen Arthur Eddington in 1919 de buiging van licht waarnam. Toch waren er ook na deze waarneming nog voorspellingen van Einsteins theorie die men simpelweg niet geloofde. De meest bekende daarvan is de voorspelling van het bestaan van zwaartekrachtgolven. Het duurde tot 1957 toen men begon te geloven in het bestaan (en vooral: de waarneembaarheid) van deze golven. De reden daarvoor was een heel eenvoudig gedachte-experiment bedacht door Richard Feynman.



Afbeelding 1. Richard Feynman (1918-1988).Foto: Tamiko Thiel, 1984.

Metten is weten

Voor we het argument van Feynman bespreken, wil ik eerst toelichten wat dat argument precies aantoont. Het argument laat zien dat energie van een zwaartekrachtgolf *omgezet kan worden in (bijvoorbeeld) warmte*. Die warmte kan dan door een detector gemeten worden, en zo meet je dus indirect het effect van een zwaartekrachtgolf. In het bijzonder laat het argument zien dat een zwaartekrachtgolf *fysisch observeerbare effecten* teweeg kan brengen. Juist dat werd tot 1957 zeer betwijfeld: het was niet duidelijk of een waarnemer, die zelf in een vervormde ruimtetijd leeft, de vervorming van die ruimtetijd ook kan meten. Feynman gaf in 1957 dus een argument voor die energieoverdracht. Zoals we weten duurde het vervolgens nog tot 2016 voordat we die overdracht van energie **ook echt konden meten!**

Kralen op een staaf

Het argument van Feynman gaat als volgt. We nemen een lange staaf met daaromheen twee kraaltjes die met een beetje wrijving vrij over de staaf kunnen bewegen. Beeld je nu in dat er een zwaartekrachtgolf door het samengestelde systeem van de staaf en de kraaltjes gaat. De

golf beweegt in de richting van de staaf. Als de frequentie van de golf klein genoeg is, en dus de golflengte groot genoeg, dan zijn de krachten die door de vervorming van de ruimte op de staaf werken veel kleiner dan de krachten tussen de atomen in de staaf. De rigide staaf zal daardoor nauwelijks van lengte veranderen.



Afbeelding 2. Een telraam. Voor het experiment van Feynman zouden we bijvoorbeeld een telraam kunnen gebruiken. De stokjes zullen als er een zwaartekrachtgolf langskomt nauwelijks vervormen, maar de kralen zullen wel met wrijving over de stokjes heen schuiven. Foto: [Max Pixel](#).

Niets is echter minder waar voor de kraaltjes! Die zullen ten opzichte van de staaf zonder veel moeite wel kunnen bewegen. Iets technischer geformuleerd: de *eigenlengte* tussen de twee kraaltjes zal gaan oscilleren als gevolg van de zwaartekrachtgolf. Het gevolg: de kraaltjes bewegen ten opzichte van de staaf. De kraaltjes konden zoals gezegd alleen bewegen met wat weerstand, en zullen daarbij dus de staaf en zichzelf een beetje opwarmen.

Behoud van energie geldt nog steeds, en dus is een beetje van de energie van de zwaartekrachtgolf omgezet in het opwarmen van de staaf en kraaltjes. Deze opwarming is een fysisch gevolg van de aanwezigheid van zwaartekrachtgolven: het argument laat dus zien dat zwaartekrachtgolven niet voor spek en bonen meedoen, maar echte, meetbare, gevolgen kunnen hebben.

Van argument naar meting

Het argument van Feynman was voor veel wetenschappers het moment om de theorie van Einstein in al zijn facetten verder te gaan onderzoeken. In de jaren zestig van de vorige eeuw kwam de theorie tot bloei toen onderzoekers als Roger Penrose en Hermann Bondi de fundamentele van de algemene relativiteitstheorie beter bestudeerden en de consequenties ervan in een mooi wiskundig jasje goten.

Tot op de dag van vandaag zijn wetenschappers bezig met het begrijpen van de zwaartekrachtstheorie van Einstein, en er zijn nog steeds vele puzzelstukjes die op hun plek moeten vallen. In de [afgelopen](#) twee jaar is het duidelijk geworden waar het stukje van de zwaartekrachtgolven ongeveer moet liggen, maar pas in de komende decennia zal duidelijk worden wat zijn ware plek zal zijn.