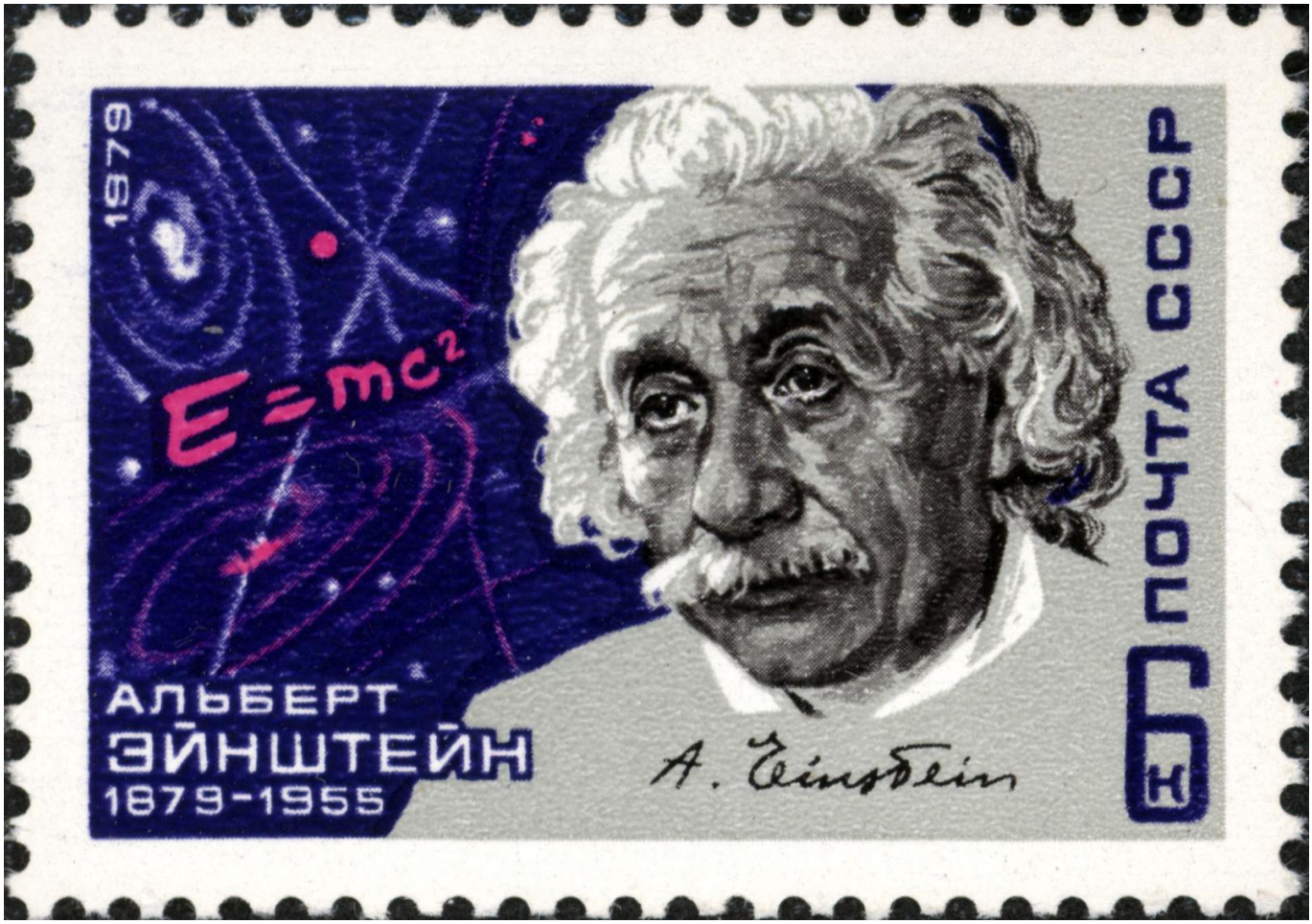
ER = EPR: een raadselachtige formule

Het lijkt een vreemde wiskundige vergelijking: ‘ER = EPR’. Deze uitdrukking duikt de laatste twee jaar regelmatig op in wetenschappelijke artikelen over zwaartekracht, quantumfysica, en de combinatie van de twee. Wat betekent deze geheimzinnige formule?

Allereerst: “ER = EPR” moet niet gelezen worden als een wiskundige vergelijking. Het is een door de natuurkundigen Juan Maldacena en Leonard Susskund ingevoerde uitdrukking die staat voor “Einstein-Rosen is hetzelfde als Einstein-Podolsky-Rosen”. Geen wiskunde dus, maar wat betekent deze uitspraak dan wel?



Afbeelding 1. Albert Einstein.Einstein is zowel de ‘E’ uit ‘ER’ als de ‘E’ uit ‘EPR’.

Einstein-Podolsky-Rosen

Albert Einstein was geen liefhebber van de quantummechanica. Hoewel hij met zijn beschrijving van het foto-elektrisch effect aan de wieg stond van deze theorie, was hij in zijn latere leven niet erg te spreken over het feit dat de quantumfysica alleen uitspraken doet over kansen. Einstein vond dat een complete natuurkundige theorie de exacte uitkomst van elk experiment zou moeten kunnen voorspellen. Volgens de quantummechanica kan uit precies hetzelfde experiment echter, als we het herhalen, steeds een verschillende uitkomst komen. De quantummechanica voorspelt alleen de *kansen* op de verschillende uitkomsten, niet de uitkomsten zelf.

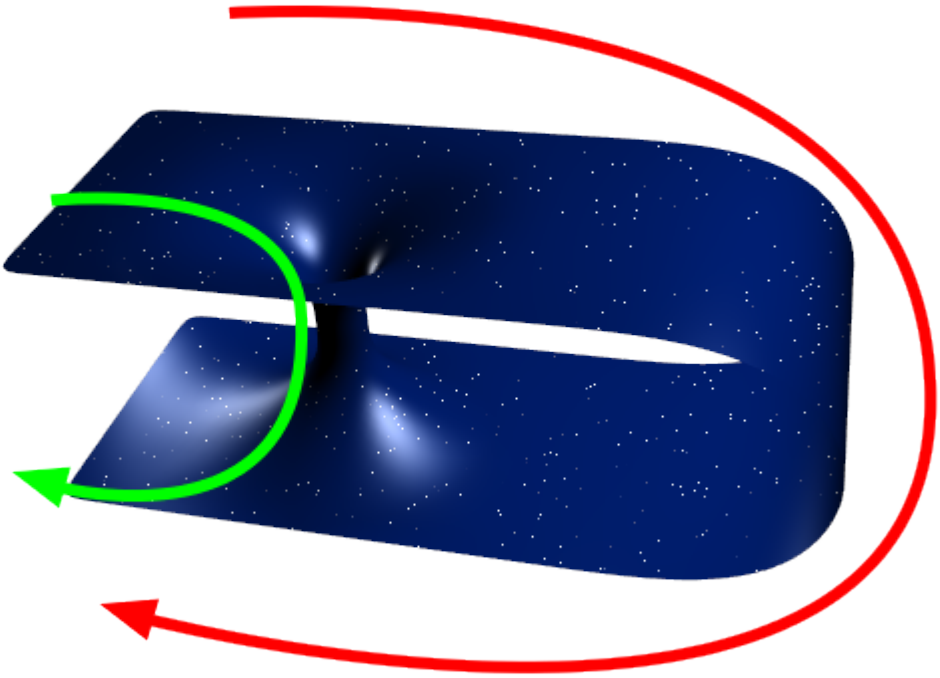
Einstein vermoedde dat dit inhield dat de quantummechanica geen volledige theorie is: dat er onder de quantummechanica nog een ‘diepere laag’ verborgen ligt die de uitkomst van elk experiment wél kan voorspellen. De quantummechanica zelf zou dan slechts een statistische beschrijving van deze laag zijn – een beetje zoals de thermodynamica een statistische beschrijving geeft van het gedrag van grote aantallen atomen in een gas.

Om aan te tonen dat de quantummechanica niet volledig was, deed Einstein waar hij bekend om stond: hij bedacht een aantal slimme gedachte-experimenten om dat aannemelijk te maken. In het bekendste, dat hij in 1935 publiceerde met zijn collega’s Boris Podolsky en Nathan Rosen, nam hij het idee van verstrengeling onder handen. Grofweg komt dit idee erop neer dat ver van elkaar verwijderde deeltjes sterk onderling verbonden kunnen zijn, en dat een meting aan het ene deeltje iets kan veranderen aan de quantumtoestand van het andere deeltje. Deze verandering zou in *kortere* tijd kunnen plaatsvinden dan het zou duren om een lichtsignaal van het ene naar het andere deeltje te sturen. Einstein stelde dat dit in tegenspraak zou zijn met zijn eigen relativiteitstheorie.

Wie meer wil weten over deze zogeheten *EPR-paradox*, en een idee wil krijgen van wat we tegenwoordig denken dat de oplossing van die paradox is, kan bijvoorbeeld de lesmodule over dit onderwerp op deze site bekijken.

Einstein-Rosen

In hetzelfde jaar 1935 publiceerde Einstein nog een heel ander artikel, ook ditmaal met Nathan Rosen. Dit artikel ging over de relativiteitstheorie zelf: Einstein en Rosen lieten zien dat de vergelijkingen van die theorie oplossingen toelaten die zogeheten *wormgaten* beschrijven. Een wormgat is een soort ‘brug’ in het heelal die ver van elkaar gelegen gebieden kan verbinden.



Afbeelding 2. Een wormgat.Een wormgat kan ver van elkaar gelegen gebieden in het heelal met elkaar verbinden. Afbeelding: Wikipedia-gebruiker Panzi.

We kunnen ons een wormgat voorstellen door ons af te vragen wat er zou gebeuren als we een tunnel dwars door de aarde heen graven. Als we een reis door zo’n tunnel zouden overleven, zouden we een veel kortere afstand hoeven af te leggen om bijvoorbeeld in Nieuw Zeeland uit te komen: in plaats van zo’n 20.000 kilometer reizen over het aardoppervlak zou de reis dan nog maar zo’n 13.000 kilometer lang zijn. Dit is nog niet zo’n enorme winst, maar

we kunnen ons voorstellen dat de winst veel groter wordt als we de aarde wat meer afplatten, tot een soort pannekoek. Iets soortgelijks gebeurt met een wormgat – zie afbeelding 2. In hun artikel bespraken Einstein en Rosen dergelijke wormgaten – overigens niet voor het eerst: het idee van een wormgat stamt al uit 1916 – en daarom worden dergelijke 'bruggen' ook wel *Einstein-Rosenbruggen* genoemd.

ER=EPR

Hoewel Einstein en Rosen het in 1935 niet beseften, lijkt er een belangrijke band te zijn tussen de ideeën uit de hierboven besproken twee artikelen. In het EPR-artikel vroeg Einstein zich af hoe het mogelijk zou zijn om binnen heel korte tijd een invloed over een enorme afstand uit te oefenen. In het ER-artikel beschreef hij een object dat juist ver gelegen stukken ruimte met elkaar kan verbinden. Het lijkt dus niet uitgesloten dat de twee ideeën iets met elkaar te maken hebben.

Lange tijd was het bovenstaande niet meer dan speculatie: er leek geen enkele manier om met de ER-vergelijkingen het EPR-verschijnsel te verklaren. Daar lijkt echter sinds 2013 verandering in gekomen te zijn: toen publiceerden Juan Maldacena en Leonard Susskind een artikel waarin werd aangetoond dat de invloed die ver verwijderde quantumdeeltjes op elkaar uitoefenen soms beschreven kan worden met vergelijkingen die erg lijken op de vergelijkingen waar we wormgaten mee beschrijven.



Afbeelding 3. Juan Maldacena.Juan Maldacena, een van de twee auteurs van het ER=EPR-idee. Foto: Institute for Advanced Study, Princeton.

Wat precies het idee is achter 'ER=EPR', en wat dit alles voor gevolgen heeft voor moderne natuurkundige ideeën over quantummechanica en zwaartekracht, valt (in het Engels) te lezen in twee erg goede artikelen van K.C. Cole en Jennifer Ouelette op de website van Quanta Magazine:

Wormholes untangle a black hole paradox
How quantum pairs stitch space-time

Uiteindelijk zal dit onderwerp ongetwijfeld ook veel uitgebreider op de Quantum Universe-website besproken worden, maar tot die tijd verwijzen we de lezer voor verdere details graag naar de bovenstaande twee artikelen.

Afbeelding blokkenschema: de afbeelding die Hannes Hummel maakte voor de artikelen in Quanta Magazine.