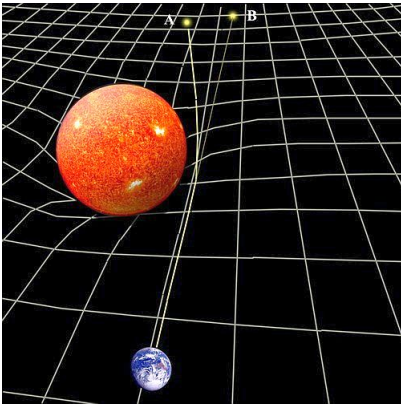




Van ruimte & tijd naar ruimtetijd

Beschrijving

Aan het begin van de 20e eeuw hadden natuurkundigen een probleem: de lichtsnelheid was altijd de snelheid van het licht.

Als je een bal uit een trein zou gooien die 32 km/uur rijdt, dan zou hij dezelfde snelheid hebben als waarmee jij hem gooide plus 32 km/uur, precies volgens de wetten van *Isaac Newton*.



Isaac Newton

Als je echter een zaklamp laat schijnen uit een trein die 32 km per uur rijdt, reist het licht met de snelheid van het licht – niet meer en niet minder – ongeacht je perspectief. En volgens Newtons beeld van het universum sloeg dat nergens op.

“We hadden geen theorie die zou verklaren waarom licht speciaal was”, zegt *Lia Medeiros*, een NASA Einstein-fellow aan de *Princeton University*.

De sleutel bleek iets te zijn dat *Albert Einstein* al snel zou voorstellen: het idee van **ruimtetijd**.

Het concept was revolutionair.

“Voor alledaagse ervaringen, maar ook voor de meeste experimenten, is het prima dat ruimte en tijd gescheiden zijn”, zegt *Daniel Holz*, hoogleraar natuurkunde en astrofysica aan de *Universiteit van Chicago*.

“Maar als je een algemene uitspraak wilt doen over hoe het universum werkt, dan moet je ze echt als één object zien.”

Een kwestie van perspectief

In 1905 publiceerde Einstein, voortbouwend op bestaand experimenteel en theoretisch werk, de speciale relativiteitstheorie. Die theorie combineerde onder meer ruimte en tijd tot één enkele entiteit die hij ruimtetijd noemde.

“De ruimtetijd is een noodzakelijk gevolg van het feit dat alle waarnemers dezelfde waarde voor de lichtsnelheid meten”, zegt *Scott Hughes*, hoogleraar natuurkunde aan het *Massachusetts Institute of Technology*. “Einstein nam de vraag ‘Wat als de lichtsnelheid voor iedereen hetzelfde is?’ serieus. En uit dat gedachte-experiment is de ruimtetijd voortgekomen.”

Het begint allemaal met het concept van verschillende referentiekaders. Hoe iemand de wereld ervaart, hangt af van zijn individuele referentiekader. Twee mensen die samen in een rijdende trein staan, zullen elkaar als stilstaan beschouwen. Maar een waarnemer die buiten de trein staat, zal beide mensen waarnemen als in beweging, met de snelheid van de trein. Zoom nog verder uit en een andere waarnemer die in de ruimte zweeft, zal de persoon die buiten de trein staat ook waarnemen als in beweging, terwijl hij met de aarde meedraait terwijl hijzelf in een baan om de zon draait, die op zijn beurt door de melkweg vliegt.

Wat Einstein zich realiseerde is dat er iets soortgelijks gebeurt met de tijd: verschillende mensen zullen het verstrijken van de tijd anders ervaren, afhankelijk van hun referentiekader. De sleutel om te begrijpen hoe dit werkt is de universele lichtsnelheid.

Stel je een enkel lichtkwantum voor, een foton, dat op en neer stuitert tussen twee spiegels die naar elkaar toe gericht zijn. Het foton reist met de snelheid van het licht en zou met regelmatige tussenpozen moeten stuiten, als een gestaag tikkende klok.

Fotonenklok

Iemand die met deze fotonenklok in een rijdende trein staat, ziet het foton in een lijn op en neer bewegen. Voor iemand die buiten de rijdende trein, op het perron, staat, lijkt het foton echter op een andere manier te bewegen. Het foton zal niet alleen op en neer stuiten, het zal ook met de trein vooruit bewegen.

Vanuit één referentiekader in de trein volgt het foton het kortst mogelijke pad, een rechte lijn. Vanaf een ander platform op het perron volgt het een langgerekt zigzagpad.

De puzzel waarmee Einstein werd geconfronteerd, wordt duidelijk als je je twee fotonenklokken voorstelt, de ene staat stil op het perron en de andere zoeft voorbij in de trein.

Als de snelheid van het licht constant is, ongeacht het referentiekader, dan zal voor de persoon in de

trein de fotonenklok naast hem sneller tikken, terwijl voor de persoon op het perron diezelfde klok in de trein langzamer zal tikken. Dit effect wordt tijdsdilatatie genoemd. Een soortgelijk gedachte-experiment, waarbij de fotonenklok op zijn kant wordt gekanteld, laat zien dat objecten compacter zijn in de richting van de beweging van de trein, een effect dat lengtecontractie wordt genoemd.

Pas als je de verschillende metingen uit de verschillende referentiekaders van ruimte en tijd combineert, zullen alle waarnemers het eens worden over het resultaat, wat suggereert dat ruimte en tijd onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.

“Als je ruimte en tijd op een samenhangende manier laat veranderen, is iedereen het erover eens dat licht met de snelheid van het licht beweegt”, zegt Holz. “Als je ze eenmaal combineert, volgt alles vanzelf. De vergelijkingen zijn erg mooi en elegant”.

Ruimtetijd in vier dimensies

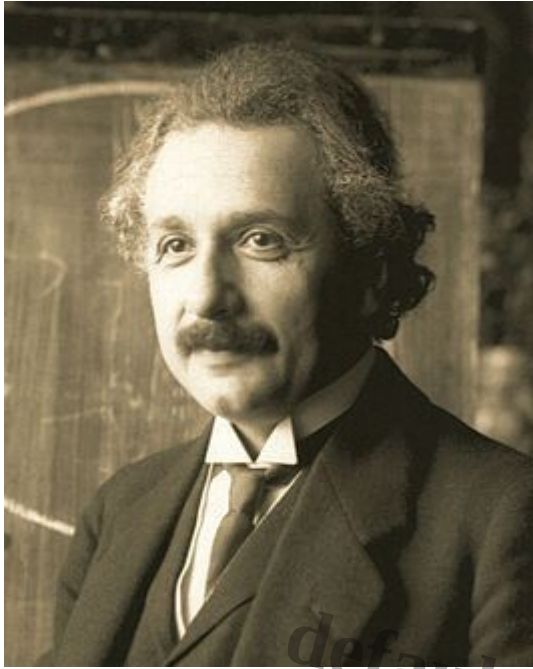
Ruimtetijd is vierdimensionaal. We kunnen naar believen door de drie dimensies van de ruimte bewegen, op en neer, van links naar rechts, of voorwaarts en achterwaarts. Maar we bewegen ons ook altijd door een vierde dimensie: tijd.

“Het enige verschil is dat wij als mensen niet kunnen beslissen om vooruit of achteruit in de tijd te gaan”, zegt Medeiros.

Omdat we er geen controle over hebben, is het moeilijk voor onze menselijke hersenen om de vierde dimensie van ruimtetijd te conceptualiseren.

“Een manier om over ruimtetijd na te denken is dat het eigenlijk alleen maar om ruimte en tijd gaat”, zegt Holz. “Het is waar je bekend mee bent. Het enige verschil is dat jouw ruimte en tijd niet absoluut zijn; iemand anders kan een andere ruimte en een andere tijd meten. Het fysieke object dat absoluut is, is de combinatie: ruimtetijd.”

Tien jaar nadat Einstein de speciale relativiteitstheorie publiceerde, publiceerde hij een nieuw werk dat het mogelijk maakte om de ruimtetijd een beetje gemakkelijker te conceptualiseren. De speciale relativiteitstheorie uit 1905 was niet compleet: ze kon geen rekening houden met de zwaartekracht. Dit was prima voor experimenten op aarde, waar de zwaartekracht zwak is, maar de theorie slaagde er niet in situaties te beschrijven waarin de zwaartekracht een belangrijke rol speelde.



Albert Einstein

In 1915 publiceerde Einstein de algemene relativiteitstheorie. In tegenstelling tot de vlakke ruimtetijd beschreven door de speciale relativiteitstheorie, zou de ruimtetijd, beschreven door de algemene relativiteitstheorie, gekromd kunnen zijn. Einstein legde uit dat de dynamische krommingen van de ruimtetijd werden veroorzaakt door massieve objecten, zoals de zon.

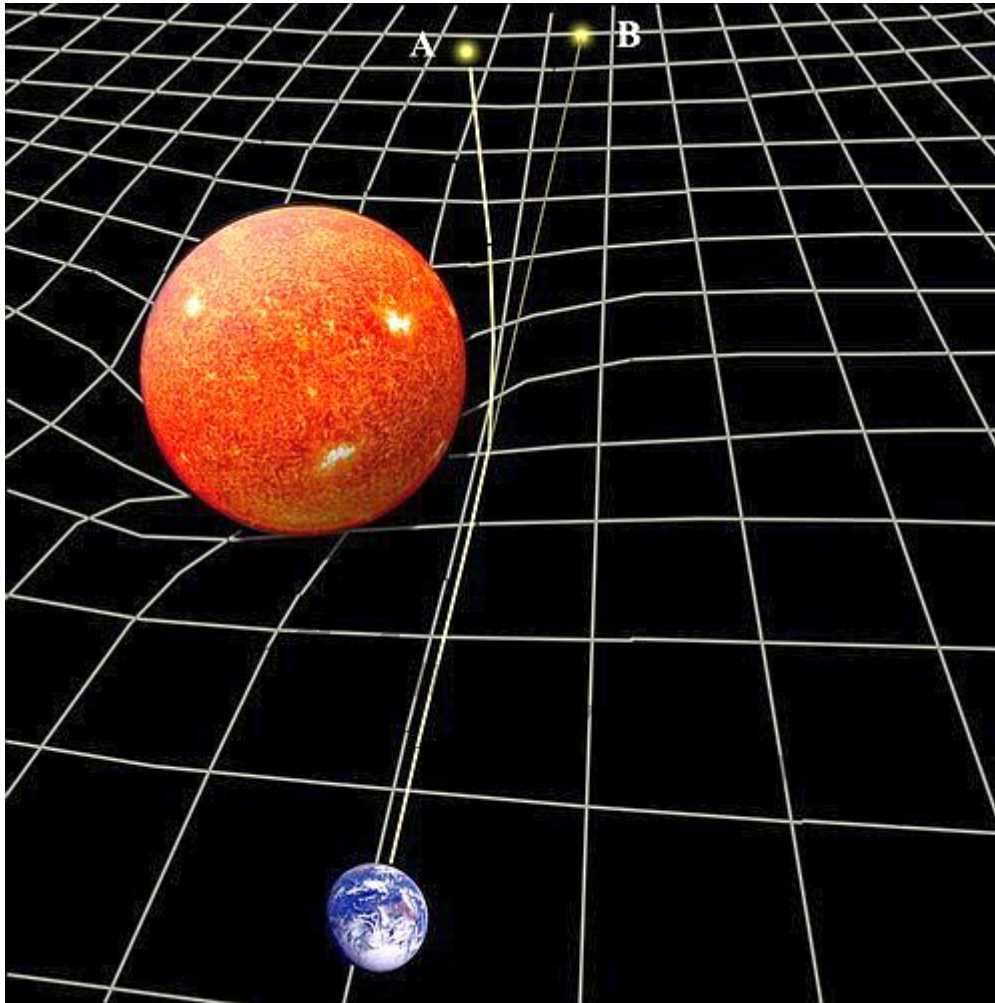
Stel je de ruimtetijd voor als een trampoline. Enorme objecten vervormen de ruimtetijd, vergelijkbaar met de manier waarop een bowlingbal op een trampoline ervoor zorgt dat hij doorbuigt.

Een object dat door de gekromde ruimtetijd reist, zal een ander pad volgen dan een object dat door de vlakke ruimtetijd reist. In sommige gevallen zullen bochten rond een massief object het pad van een ander object in een baan transformeren, zoals het elliptische pad dat de aarde rond en rond de zon volgt.

“In zekere zin is het universum zelf ruimtetijd”, zegt Holz. “Je kunt er niet eens over nadenken, tenzij je erover nadenkt in termen van deze gecombineerde ruimtetijd. Het is een soort cruciale fase waarin alles wat we begrijpen zich afspeelt.”

Ruimtetijd is geen nieuw idee, maar het is nog steeds belangrijk in wetenschappelijk onderzoek van vandaag.

“De afgelopen jaren heeft de ruimtetijd centraal gestaan bij veel opwindende ontdekkingen”, zegt Holz.



Zwaartekracht vervormt de Ruimteti

Einsteins algemene relativiteitstheorie voorspelde het bestaan van zwarte gaten, die Medeiros bestudeert, en zwaartekrachtsgolven, die Holz en Hughes bestuderen.

Medeiros werkt aan de *Event Horizon Telescope*, die in 2019 de allereerste afbeelding van een zwart gat publiceerde. Een zwart gat is een kromming van de ruimtetijd met een zwaartekracht die zo sterk is dat niets eraan kan ontsnappen, zelfs licht niet. En dat is precies wat wetenschappers ontdekten toen ze gegevens van meerdere observatoria combineerden tot één enkele foto. Medeiros zegt dat ze verbaasd is *“dat iemand een reeks vergelijkingen heeft opgeschreven, en dat die reeks vergelijkingen honderd jaar later het bestaan van dit object voorspelde en perfect beschreef hoe het eruit zou zien.”*

Zowel Holz als Hughes bestuderen gebeurtenissen gemeten door het *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, dat in 2016 de ontdekking van zwaartekrachtgolven aankondigde. Zwaartekrachtgolven zijn rimpelingen in de ruimtetijd, veroorzaakt door de versnelling van massieve en dichte objecten zoals neutronensterren en zwarte gaten.

“Het idee dat tijd en ruimte het beste kunnen worden omschreven als ruimtetijd, en dat ruimtetijd zelf een dynamisch iets is dat ons vertelt over de zwaartekracht, heeft de afgelopen acht jaar van gegevensverzameling echt stand gehouden”, zegt Hughes.

Dat is iets waar meerdere waarnemers het over eens kunnen zijn.

Datum aangemaakt
2023/10/27

default watermark