Warum bewegt sich Licht nicht durch den Raum –Richard Feynmans verblüffende Quantenphysik-Erklärung

Stel je voor dat een klein lichtdeeltje op dit moment een ster aan de rand van het zichtbare heelal verlaat.

Deze ster staat zo ongelooflijk ver weg dat het licht er meer dan 13 miljard jaar over doet om jou te bereiken.

13 miljard jaar langer dan de aarde zelfs maar bestaat.

En nu komt het feit dat er voor dit lichtdeeltje zelf precies nul tijd verstrijkt gedurende deze hele reis.

Geen tik, geen seconde.

Het begint en eindigt op hetzelfde moment.

Vanuit zijn eigen perspectief heeft het nog nooit gereisd.

Wow, dat klinkt echt bizar, hè?

Maar dat is precies wat de natuurkunde zegt.

En het gaat niet zomaar om een of andere onzinnige natuurkunde, maar om keiharde, duizendmaal bewezen wetenschap.

En als je me de komende minuten echt volgt, zal er iets vreemds gebeuren.

Een vraag die eigenlijk heel simpel klinkt: hoe beweegt licht zich door de ruimte?

Zal het je hele perceptie van de werkelijkheid op zijn kop zetten?

Omdat Richard Feynman, een van de meest briljante natuurkundigen aller tijden, een antwoord had dat je werkelijk versteld zal doen staan.

Misschien beweegt licht niet zoals je denkt.

Misschien beweegt het zich in zekere zin helemaal niet door de ruimte.

Blijf kijken, want tegen het einde zal een simpele spiegel iets over de werkelijkheid onthullen dat de meeste mensen nooit in hun leven ervaren.

Laten we beginnen.

Laten we beginnen waar iedereen begint.

Vraag het aan iemand op straat: Wat is licht?

Het antwoord is, nou ja, wat er uit de lamp komt, is prima.

Maar vraag jezelf eens af: hoe komt het licht van de lamp in je oog terecht?

En nu wordt het nog instabieler.

De meeste mensen stellen zich een klein bolletje, een lichtdeeltje, voor dat in een rechte lijn door de lucht vliegt en als een miniraket het oog binnendringt.

De afbeelding is zeer intuïtief.

Dat is volkomen onjuist.

Nou, niet helemaal, maar het laat het belangrijkste punt buiten beschouwing: licht is zowel een deeltje als een golf.

En houd je goed vast. Het gaat niet via één pad, maar via alle paden tegelijk.

Maar daar komen we zo meteen op terug.

Dat is het gedeelte waar je echt hoofdpijn van krijgt.

Om te beginnen de simpele vraag: Hoe snel is licht?

Ongeveer kilometers per seconde.

Licht draait zeven en een halve keer per seconde rond de aarde.

Dat is de absolute snelheidslimiet in het hele universum.

Niets, absoluut niets, is sneller.

En juist deze grens vormt de sleutel tot onze hele puzzel.

Want wat gebeurt er als je dichter bij die grens komt?

De tijd zelf wordt dan vreemd.

En hier komt Albert Einstein in beeld.

Een kleine sprong terug.

Maar verder slaat Feynman later nergens meer op.

Meer dan honderd jaar geleden deed Einstein iets opmerkelijks.

Tijd is niet voor iedereen hetzelfde.

Het is niet dat constante getik dat overal in het universum synchroon loopt.

Nee, tijd is elastisch.

Het hangt ervan af hoe snel je beweegt.

Stel je twee tweelingen voor.

De één blijft op aarde, de ander stapt aan boord van een raket die bijna de lichtsnelheid bereikt, een paar jaar door de ruimte vliegt en terugkeert.

Wat gebeurt er?

De raket die op de aarde staat is wellicht vijf jaar ouder geworden, de tweelingbroer op aarde 50 jaar.

Ernstig?

De één is jong gebleven, de ander is een oude man geworden.

Dit is geen sciencefiction.

Dit wordt gemeten met behulp van uiterst precieze klokken in vliegtuigen en satellieten.

Zonder dit effect zou de GPS van uw auto u kilometers ver van de route afleiden.

Hoe sneller je beweegt, hoe langzamer de tijd lijkt te verstrijken vanuit een extern perspectief.

En nu de miljoenen euro's.

Wat gebeurt er als je niet alleen bijna, maar precies de lichtsnelheid bereikt?

Wat als jij het licht zelf was?

En precies daar begint het pas echt gek te worden.

Onthoud deze vraag, want het antwoord erop is de reden voor de hele titel van deze video.

Naarmate je de lichtsnelheid steeds dichter nadert, gebeuren er twee dingen.

De tijd lijkt voor jou langzamer te gaan.

De weg die voor ons ligt, wordt steeds korter.

De ruimte krimpt letterlijk in de richting waarin je beweegt.

Dit wordt lengtecontractie genoemd.

Draai nu beide knoppen helemaal open tot precies de lichtsnelheid.

Wat gebeurt er?

De tijd staat voor jou volledig stil.

Het verdwijnt nooit.

En de afstand voor je krimpt tot nul.

Het maakt niet uit of de ster 13 miljard lichtjaar ver weg is.

Vanuit het perspectief van licht is afstand onbeduidend.

0 meter en 0 seconden.

Laat dat even tot je doordringen.

Voor het foton, het lichtdeeltje, bestaat er geen reis.

Er is geen moment dat je in beweging bent.

Het moment waarop het ontstaat, bijvoorbeeld op het oppervlak van de zon, en het moment waarop het sterft, bijvoorbeeld op je huid wanneer je in de zon ligt, dat is voor het licht één en hetzelfde moment.

Geboorte en dood vallen samen.

Het doorkruist de ruimte niet, omdat er geen ruimte is voor licht om doorheen te gaan en geen tijd waarin dat zou kunnen gebeuren.

Nu een belangrijk, eerlijk punt, want dit is precies waar serieuze natuurkunde afwijkt van wat YouTube laat zien.

Onzin.

Strikt genomen kan een foton geen eigen rustframe hebben.

De formules geven op dit punt oneindigheid en nul als resultaat.

Fysici beschouwen dit als een grensgeval, niet als een letterlijke beschrijving, maar als een mentaal beeld.

Om te begrijpen hoe vreemd de wereld van het licht is, is het goud waard.

Voor ons voelt het als een reis.

Voor licht is het een enkel, tijdloos punt.

En je kunt nu al zien dat ons gezellige idee van het balletje dat door de lucht vliegt, dramatisch aan het afbrokkelen is.

Maar we zijn nog niet eens toegekomen aan de daadwerkelijke waanzin van Feynman.

Nu komt de man naar wie dit kanaal is vernoemd, Richard Feynman, Nobelprijswinnaar, bongospeler, kluizenkraker en degene die kwantumfysica op een bijna leuke manier kon uitleggen.

Feynman was medeontwikkelaar van een theorie genaamd QED, oftewel kwantumelektrodynamica.

Het is de meest accurate natuurkundige theorie die de mensheid ooit heeft ontwikkeld.

Zo nauwkeurig dat het net zo makkelijk is als het bepalen van de afstand tussen Berlijn en New York, tot op de dikte van een enkele haar.

En Feynmans idee over hoe licht zich beweegt is ronduit bruut en prachtig.

Hij zei: "Vraag niet welke weg het licht neemt, want het licht neemt alle mogelijke wegen tegelijk."

Ja, u hebt het goed gehoord.

Wanneer licht van punt A naar punt B reist, probeert het niet alleen de rechte lijn te volgen, maar maakt het ook een omweg naar links, een omweg naar rechts en een absurde zigzag over de maan.

Alle denkbare paden en talloze andere die je je niet kunt voorstellen.

Het licht belicht ze allemaal tegelijk.

Nu denk je waarschijnlijk: wacht eens even, dat slaat helemaal nergens op.

Ik zie dat het licht recht vooruit schijnt.

Een laserstraal is perfect recht, en je hebt gelijk.

En toch heeft Feynman gelijk.

Hoe sluit dat op elkaar aan?

Daar komt de briljante Feynman.

Stel je voor dat elk lichtdeeltje een kleine stopwatch met zich meedraagt.

De wijzer van deze klok draait mee met de beweging van het licht.

Voor elk van de oneindig vele paden is er uiteindelijk een aanwijzerpositie.

Stel je een kleine pijl voor, en tel nu al die pijlen van al die paden bij elkaar op.

En nu dit: In de bizarre omwegen wijzen de pijlen in volkomen chaotische richtingen.

De ene gaat omhoog, de volgende omlaag, en zo kruisen ze elkaar overal.

Ze heffen elkaar op.

Ze verdwijnen alsof ze nooit hebben bestaan.

Maar op de paden die heel dicht bij de rechte lijn liggen, wijzen bijna alle pijlen in dezelfde richting.

Ze tellen op, ze versterken elkaar.

En daarom lijkt het voor ons alsof licht zich in een rechte lijn voortplant.

De rechte lijn is niet het pad dat licht kiest.

Het is wat overblijft wanneer alle andere mogelijkheden elkaar hebben vernietigd.

Is dat niet geweldig?

De rechte lichtstraal die je als vanzelfsprekend beschouwt, is in werkelijkheid het resultaat van een gigantisch afscheid tussen oneindig veel paden.

En als je denkt dat dat al gek is, wacht dan maar tot je ziet wat het betekent voor een volstrekt gewone spiegel.

Je kent de regel wel... Bij een spiegel is de invalshoek gelijk aan de reflectiehoek.

Licht komt onder één hoek binnen en verlaat het lichaam onder dezelfde hoek.

Schoon en netjes.

Logisch.

Maar waarom is dat zo?

Het oude antwoord zou zijn dat licht de kortste of snelste weg volgt.

Feynmans antwoord is diepgaander en veel intrigerender.

Het licht test hier ook elk punt van de spiegel uit.

Het raakt de linkerhoek, de rechterhoek, het midden.

Elk afzonderlijk punt.

Vanuit elk van deze punten kan het op uw ogen zichtbaar zijn.

En ook hier heeft elk van deze paden zijn eigen kleine pijltje, de positie van de stopwatchwijzer.

Aan de randen van de spiegel, waar de paden lang en ingewikkeld zijn, draaien de handen wild rond en wijzen ze in alle richtingen.

Ze vernietigen elkaar.

Maar precies in het midden, op het punt waar de invalshoek gelijk is aan de reflectiehoek, veranderen de paden het minst.

Alle pijlen wijzen in dezelfde richting, en dat is waar alles op zijn plaats valt.

Dit betekent dat de spiegel slechts op één punt lijkt te reflecteren.

Maar in werkelijkheid gebruikt het licht de hele spiegel.

Die ene plek wint alleen omdat de pijlen elkaar daar niet opheffen.

Feynman ging zelfs nog een stap verder.

Als je de randen van een spiegel met fijne krasjes precies op de juiste plekken bekrast, kun je er ineens voor zorgen dat het licht onder een totaal verkeerde hoek reflecteert.

Dit wordt een diffractierooster genoemd.

En dat werkt alleen omdat het licht de hele spiegel daadwerkelijk scant.

Dat is het bewijs.

Levendig en in kleur.

En zoals je weet, kan het niet gekker worden.

Maar het kan wel het beroemdste experiment aller tijden zijn: de dubbele spleet.

Individuele lichtdeeltjes worden één voor één op een muur met twee smalle spleten geschoten.

Er staat een paraplu achter.

Wat had je anders verwacht?

Twee strepen direct achter de twee spleten.

Logischerwijs wel, maar dat gebeurt niet.

Op het scherm verschijnt een patroon van vele lichte en donkere strepen, een zogenaamd interferentiepatroon.

Het was alsof elk afzonderlijk deeltje tegelijkertijd door beide spleten moest gaan en zichzelf daardoor beïnvloedde.

En nu komt het moment waarop je kippenvel krijgt.

Dat is precies wat Feynmans idee inhoudt.

Het foton volgt tegelijkertijd beide paden door de linker en rechter spleet.

De pijlen van de twee paden tellen soms bij elkaar op, soms heffen ze elkaar op, en dit creëert het gestreepte patroon.

Maar nu wordt het pas echt griezelig.

Zodra je een detector installeert die controleert door welke gleuf het deeltje daadwerkelijk gaat, verdwijnt het patroon onmiddellijk.

Het licht gedraagt zich plotseling weer als een braaf balletje.

Alleen al door ernaar te kijken verandert het resultaat.

Laat dat even tot je doordringen.

De natuur gedraagt zich anders, afhankelijk van of iemand kijkt of niet.

Nog een alledaags voorbeeld dat je nooit meer loslaat.

Kijk naar een raam.

Je kunt erdoorheen kijken, maar je ziet ook je eigen zwakke weerspiegeling; ofwel, glas laat het meeste licht door, maar ongeveer 4 procent wordt teruggekaatst.

De vraag die Feynman stelde is even simpel als venijnig.

Hoe weet een enkel foton of het erdoorheen moet gaan of moet worden weerkaatst?

Denk er eens over na.

Er komt een enkel lichtdeeltje aan.

Het kan niet een klein stukje erdoorheen gaan en dan weer een klein stukje terugspringen.

Er moet een besluit worden genomen.

Volgens de natuurkunde bepaalt het puur toeval dat ongeveer één op de vijfentwintig fotonen terugkeert naar de oorspronkelijke beslissing, terwijl de rest erdoorheen gaat.

Er is geen verborgen reden, geen omschakeling, geen oorzaak in de klassieke zin, alleen een waarschijnlijkheid.

Feynman reageerde er eerlijk gezegd ijzig koel op.

Hij zei in wezen: "We kunnen niet voorspellen wat een enkel foton zal doen."

We kunnen alleen de waarschijnlijkheid berekenen.

En dit is geen kennislacune die we op een gegeven moment zullen opvullen.

Dat is, voor zover wij weten, hoe de natuur op het diepste niveau werkt.

Toeval is inherent aan de grondslagen van de werkelijkheid.

Neem nu even de tijd om te bedenken hoe ver we al gekomen zijn.

We begonnen met het onschuldige beeld van een lichtbol die door de lucht vliegt.

En nu zijn we hier.

Licht kent geen tijd, bewandelt alle paden tegelijk, gaat door twee spleten tegelijk en waagt een gok bij het raam om te zien of het van richting verandert.

Wat blijft er dan over?

Licht beweegt zich door de ruimte.

Laten we alles samenbrengen.

Wat is de werkelijke, diepere boodschap achter onze titelvraag?

Ons dagelijks denken is gebaseerd op lineaire patronen.

Iets is hier, dan verplaatst het zich, en dan is het daar.

Plaats, tijd, route, keurig in de juiste volgorde.

Maar licht doet niet mee aan dit spelletje.

Voor het licht is geen reis nodig.

Er is alleen een hier, het zendpunt, en een daar, het aankomstpunt, en vanuit het perspectief van het licht is er niets daartussenin.

Geen ruimte, geen tijd, geen afstand.

Wat we de beweging van licht door de ruimte noemen, is in werkelijkheid een verbinding, een uitwisseling tussen de plaats waar het licht ontstaat en de plaats waar het wordt geabsorbeerd.

Een elektron in de zon trilt, een elektron in je oog trilt kort daarna ook, en we vertellen elkaar het verhaal dat een deeltje van A naar B is gevlogen.

Maar dit verhaal is onze menselijke vertaling.

De diepere waarheid is, in kwantummechanische termen, een som van alle mogelijkheden, een netwerk van waarschijnlijkheden dat A en B rechtstreeks met elkaar verbindt.

De vraag is dus: waarom beweegt licht zich niet door de ruimte?

Geen goedkope kliktruc.

Ze wijst naar iets concreets.

Onze concepten van ruimte en tijd, die uitstekend werken voor auto's, ballen en mensen, zijn simpelweg niet van toepassing op licht.

We leggen ons idee van reizen op aan het licht.

Maar het licht zelf kent zoiets niet.

En Feynman was er bewonderenswaardig bescheiden over.

Hij is de bron van de beroemde uitspraak dat niemand de kwantummechanica echt begrijpt.

Hij bedoelde niet dat we te dom zijn.

Hij zei dat we ze met adembenemende nauwkeurigheid kunnen berekenen en dat je daarvoor je mobiele telefoon, laser, computer, alles kunt gebruiken; alles is daarop gebaseerd.

Maar je kunt ze niet dwingen in een comfortabel, alledaags beeld.

En dat is prima.

De natuur hoeft niet per se logisch te zijn voor ons apenbrein.

Dus de volgende keer dat je je ogen dichtknijpt tegen de zon of je spiegelbeeld in het raam ziet, bedenk dan dat dit licht dat je oog bereikt, vanuit zijn eigen perspectief in nul tijd is aangekomen, dat het elke mogelijke weg heeft afgelegd om bij jou te zijn, en dat een stukje van het universum zich zojuist rechtstreeks met jou heeft verbonden op een manier die onze woorden voor ruimte en tijd niet werkelijk kunnen beschrijven.

Best gek voor zoiets alledaags als een zonnestraal, toch?

Vond je dit indrukwekkend? Geef dan een like.

Dit is echt een enorme hulp voor het kanaal.

Schrijf me: Welk onderdeel vond je het meest indrukwekkend?

De tijd die stilstaat, de oneindige paden van de dubbele spleet, of het dobbelsteenwerpende foton bij het venster?

Ik lees alle reacties.

En als je houdt van natuurkunde die je even duizelig maakt en vervolgens je kijk op de wereld verandert, abonneer je dan op het kanaal en bekijk de volgende video die hier binnenkort verschijnt.

Blijf tot die tijd nieuwsgierig en onthoud: de wereld is altijd vreemder dan ze lijkt.

Tot de volgende keer.