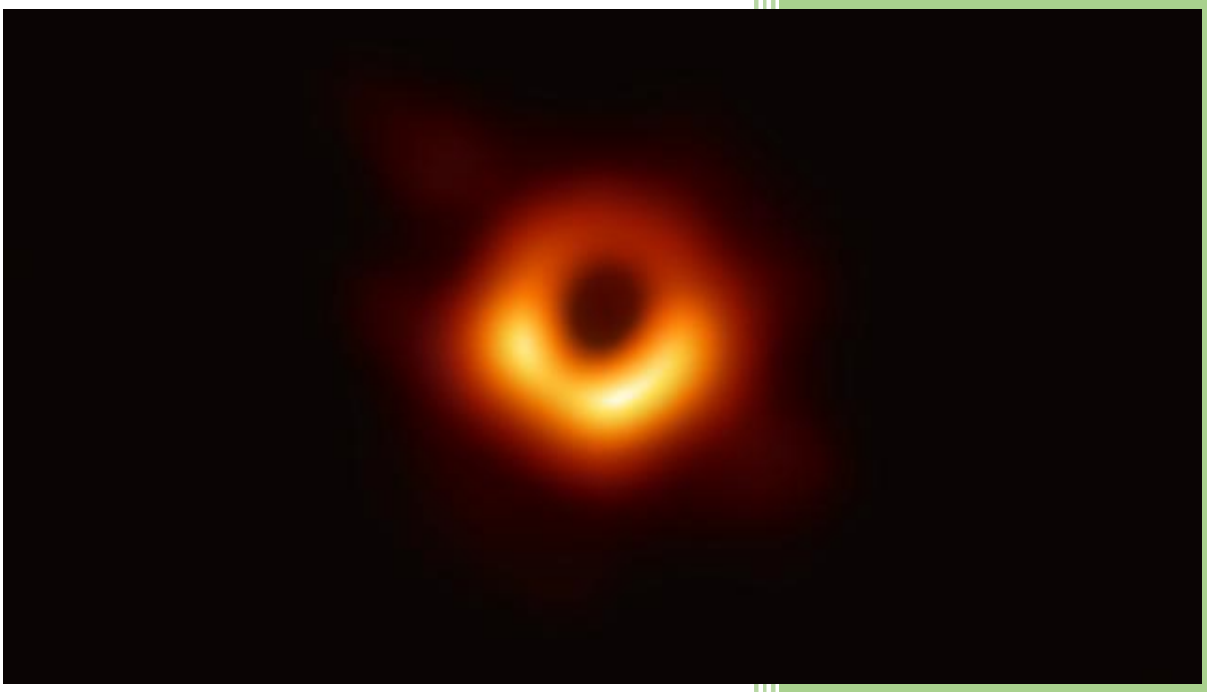
website: www.higgsveld.com

Kosmologie en theoretische natuurkunde in de 21e eeuw

Higgsveld equivalentietheorie (HET)



CC BY SA

Henk Lahuis

henk.lahuis@home.nl

18-11-2026



Galileo Galilei (1636)

"E pur si muove" (Italiaans voor "*en toch beweegt hij*").

Volgens de overlevering is dit de beroemde uitspraak van de Italiaanse astronoom en natuurkundige Galileo Galilei uit 1633. Hij zou dit hebben gemompeld nadat hij door de Inquisitie van de Katholieke Kerk was gedwongen om zijn theorie in te trekken, waarin hij stelde dat de Aarde om de Zon draait. Met de uitspraak gaf hij aan dat de waarheid onveranderd blijft, ongeacht wat de kerk hem dwong te zeggen. Galilei (1564 – 1642) wordt beschouwd als de vader van de moderne astronomie.

Inhoudsopgave

Inleiding 3
Hoofdstuk 1 Postulaten Higgsveld equivalentietheorie 6
Hoofdstuk 2 Bewijzen Higgsveld equivalentietheorie 11
Hoofdstuk 3 Nieuwe verklaring uitkomst Michelson en Morley experiment 1887 14
Hoofdstuk 4 Kwantumtheorie 19
Hoofdstuk 5 Het heelal 26
Hoofdstuk 6 Zwarte gaten 33
Hoofdstuk 7 Formule zwaartekracht 39
Bijlage 1 Tijd 45
Bijlage 2 Relativiteitstheorieën 50
Bijlage 3 Fuzzball 60
Woord van dank 62

Inleiding

In de kelder van de Western Reserve University in Cleveland Ohio, werkten Albert Michelson en Edward Morley in 1887 aan een gedurfd experiment om het bestaan van ether aan te tonen. Ether werd niet gevonden, wel bleek dat de snelheid van het licht constant was, onafhankelijk van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam. Om dit te kunnen verklaren bedacht FitzGerald in 1889 het begrip '*lengtecontractie*' en in 1905 Einstein het begrip '*tijddilatatie*'. Hadden Michelson en Morley in 1887 geweten van het in 2012 ontdekte Higgsveld, dan was hun onderzoeksvraag geweest: "*Heeft een veranderende bewegingstoestand van deeltjes met massa (het uitzendende lichaam) invloed op de bewegingstoestand van deeltjes zonder massa (fotonen)?"* Wat bleek? De bewegingstoestand van deeltjes zonder massa (fotonen) bleef onveranderd bij het wijzigen van de bewegingstoestand van deeltjes met massa (het uitzendende lichaam). Hét bewijs dat het foton géén koppelconstante bezit met het Higgsveld, waardoor het zich ongehinderd door het Higgsveld verplaatst.

Terug naar de 21e eeuw zien we dat het grootste probleem in de theoretische natuurkunde nog steeds is dat de *algemene relativiteitstheorie* niet aansluit op de *kwantumtheorie*. Dit speelt met name in het centrum van zwarte gaten. Volgens de theorie van Einstein (dat gaat over zwaartekracht), moet de massa in het centrum van een zwart gat gebundeld zijn in een *singulariteit*, samengeperst tot een punt van oneindige dichtheid aan massa en nul volume. Volgens de kwantumtheorie (dat gaat over het gedrag van materie op het kleinste niveau) kán een singulariteit helemaal niet bestaan, omdat deze theorie een maximale eindige dichtheid aan massa oplegt.

Sinds 2012 weten we dat het heelal gevuld is met het Higgsveld (higgsbosonen). Het Higgsveld verklaart het bestaan van traagheid van massa (een eigenschap van materie om zich te verzetten tegen elke verandering in haar bewegingstoestand) door de toevoeging van dit energieveld aan het Standaardmodel van de Elementaire deeltjes. Simplistisch gezegd zijn higgsbosonen klontjes in het heelal waar andere deeltjes doorheen bewegen. Doordat higgsbosonen aan een ander deeltje 'blijven plakken', krijgen deze deeltjes hun massa (bekend als het Higgsmechanisme, higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Hoe meer higgsbosonen aan dit deeltje blijven plakken, hoe meer massa dit deeltje heeft. Ook zien we dat het foton géén koppelconstante bezit met het Higgsveld, waardoor het zich ongehinderd door het Higgsveld verplaatst (*kwantumtheorie*). Het geeft een nieuwe verklaring voor de uitkomst van het Michelson en Morley experiment uit 1887.

Deze kwantummechanische basis (een nieuwe verklaring van het Michelson en Morley experiment doordat het foton géén koppelconstante met het Higgsveld heeft) geeft aan dat het toepassen van relativistische tijd-ruimtetransformaties (lengtecontractie en tijddilatatie) hun bestaansrecht hebben verloren. In het aller vroegste begin van het heelal had het Higgsveld een gemiddelde veldsterkte van nul. Deze perfecte symmetrie kan alleen bestaan wanneer het heelal géén buitenkant heeft en dus de vorm van een *hypersfeer* heeft (een vierdimensionale ruimte). Na een spontane symmetriebreking zakte het Higgsveld naar een nieuwe energietoestand waarin de waarde in het hele vacuüm niet langer nul was en behield het heelal haar vierdimensionale vorm van een *hypersfeer*. Hiermee kan de theoretische natuurkunde in de 21e eeuw een overstap maken van een abstracte wiskundige geometrie, dat gebruik maakt van relativistische tijd-ruimtetransformaties om de concrete fysieke structuur van de vierdimensionale ruimtetijd te beschrijven naar een kwantummechanische basis, het scalair Higgsveld dat aan de wetten van de kwantumveldentheorie voldoet, om de concrete fysieke structuur van een ruimtelijk vierdimensionaal heelal te beschrijven.

Vanuit deze kwantummechanische basis wordt een nieuwe theorie gepostuleerd, waarin de *kwantumtheorie* en de *algemene relativiteitstheorie* op elkaar aansluit. In deze kwantummechanische benadering is het heelal niet gevuld met het Higgsveld (een alom aanwezig energieveld van higgsbosonen), maar zijn het fysieke heelal en het Higgsveld één en hetzelfde, ze zijn logisch equivalent (Higgsveld ≡ heelal). De naam van deze theorie is dan ook *Higgsveld equivalentietheorie (afgekort HET).*

De *Higgsveld equivalentietheorie* beschrijft een heelal in de vorm van een *hypersfeer*. Als je hierin in een rechte lijn blijft vliegen, kom je uiteindelijk terug op je startpunt. Kenmerk van een heelal in de vorm van een *hypersfeer* is dat élk punt in het heelal het middelpunt van het heelal is. Ook dat de oerknal niet vanuit één punt in het heelal plaatsvond, maar dat de oerknal vanuit élk punt in het heelal als middelpunt van het heelal plaatsvond. Kenmerk van een heelal in de vorm van een *hypersfeer* is ook, dat sterrenstelsels niet van ons vandaan vliegen, maar dat alleen de tussenruimte tussen deze sterrenstelsels groter wordt. Sterrenstelsels staan al vanaf de oerknal op dezelfde plek in het heelal. Een reeds breed gedragen idee in de kosmologie.

Ondanks dat de twee postulaten van de speciale relativiteitstheorie juist zijn, verliest de speciale relativiteitstheorie met deze kwantummechanische basis wel haar status als ‘fundamentele’ theorie. Omdat het niet meer toepassen van relativistische tijd-ruimtetransformaties erin resulteert dat de zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd kán zijn, moet zwaartekracht een gekromd energieveld zijn, dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme. De algemene relativiteitstheorie behoudt wel degelijk haar status als ‘fundamentele’ theorie, wanneer in het begrip ‘ruimtetijd’ de vierde dimensie ‘tijd’ wordt vervangen door een vierde dimensie ‘ruimte’ (onderdeel van het heelal in de vorm van een vierdimensionale *hypersfeer*).

Al in 2001 introduceerde Samir Dayal Mathur (een theoretisch natuurkundige die gespecialiseerd is in snaartheorie en zwarte gatenfysica) een theorie die uitgaat van kwantum-fuzzballs (pluizige bal, in het Engels fuzzballs). Vanuit een abstracte ruimtetijd-geometrie zijn dit hypothetische objecten binnen de snaartheorie die een fundamenteel alternatief bieden voor de traditionele beschrijving van zwarte gaten. Hierin wordt de klassieke, oneindig kleine singulariteit en de lege waarnemingshorizon (event horizon) vervangen door een bal van trillende energiedraden (snaren). Met de op kwantummechanische basis gebaseerde *Higgsveld equivalentietheorie* is deze fuzzball géén hypothetisch object meer, maar een werkelijk gigantische kluwen van trillende snaren, waarmee direct een oplossing is gevonden voor de in 1976 benoemde informatie paradox en de in 2012 benoemde firewall paradox van zwarte gaten.

Op 14 september 2015 deed de Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) de eerste waarneming van zwaartekrachtsgolven van twee botsende zwarte gaten. Hoewel wetenschappers 99,99994% zekerheid willen hebben dat er in een zwart gat géén singulariteit zit, toont de data van LIGO met 99,6% zekerheid aan dat een zwart gat géén singulariteit bevat. Een voor de gewone mens een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid dat zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd is, maar een gekromd energieveld (zwaartekrachtsveld).

De op kwantummechanische basis geformuleerde *Higgsveld equivalentietheorie,* in plaats van een tot nu toe gehanteerde abstracte ruimtetijd-geometrie, geeft dan ook antwoord op een groot aantal vraagstukken in de kosmologie en theoretische natuurkunde in de 21e eeuw.

- ✓ Wat het heelal is.
- ✓ Welke vorm het heelal heeft
- ✓ Wat donkere energie is.
- ✓ Wat donkere materie is.
- ✓ Wat de Grote Aantrekker is.
- ✓ Een oplossing voor het conflict tussen algemene relativiteitstheorie en kwantumtheorie.
- ✓ Wat zwaartekracht echt is.
- ✓ Wat er in een zwart gat zit.
- ✓ Een oplossing van de informatie paradox (zwart gat).
- ✓ Een oplossing van de firewall paradox (zwart gat).

Hoofdstuk 1 Postulaten Higgsveld equivalentietheorie

Zoals uit de inleiding blijkt, zijn de zes postulaten van de Higgsveld equivalentietheorie:

1. De natuur kent het begrip ‘oneindig’ niet. In theorieën als de speciale en algemene relativiteit wordt een stilstaande tijd of een singulariteit gezien als een wiskundige limiet in plaats van een oneindigheid. Dit betekent dat onze natuurwetten niet meer werken op die schaal en dat de wiskundige berekeningen naar oneindig ‘exploderen’. Bij de speciale relativiteitstheorie staat de tijd stil (oneindig) op de waarnemingshorizon van een zwart gat en kunnen tijd en ruimte, maar daardoor ook natuurwetten achter deze waarnemingshorizon niet bestaan. Bij de algemene relativiteitstheorie wordt de ruimtetijd tot een singulariteit geperst (oneindig) in een zwart gat.

2. Na de vondst van het higgsboson in 2012 zien we dat het foton géén koppelings-constante met het Higgsveld bezit, waardoor het zich ongehinderd door het Higgsveld verplaatst. Een nieuwe verklaring voor de uitkomst van het Michelson en Morley experiment uit 1887. Deze kwantummechanische basis, een nieuwe verklaring van het Michelson en Morley experiment doordat het foton géén koppelconstante met het Higgsveld heeft, geeft aan dat het toepassen van relativistische tijd-ruimtetransformaties (lengtecontractie en tijddilatatie) hun bestaansrecht verliezen. Vanuit de theoretische natuurkunde kan overgestapt worden van een abstracte wiskundige geometrie, dat gebruik maakt van relativistische tijd-ruimtetransformaties om de concrete fysieke structuur van onze ruimtetijd te beschrijven naar een kwantummechanische basis, het scalair Higgsveld dat aan de wetten van de kwantumveldentheorie voldoet, waarmee een concrete fysieke structuur van ons heelal ontstaat. Ondanks dat de twee postulaten van de speciale relativiteitstheorie juist zijn, verliest de speciale relativiteitstheorie hiermee wel haar status als ‘fundamentele’ theorie.

3. Het fysieke heelal en het Higgsveld zijn logisch equivalent. Het heelal is geen passieve geometrische achtergrond, maar een fundamenteel medium (het Higgsveld). Het heelal is niet gevuld met een Higgsveld, maar het heelal en het Higgsveld zijn één en het zelfde (vandaar de naam Higgsveld equivalentietheorie).

4. Omdat het Higgsveld (heelal) in het aller vroegste begin een veldsterke had met een gemiddelde waarde van nul en de natuur het begrip oneindig niet kent (zie het eerste postulaat), had het Higgsveld de vorm van een *hypersfeer* (een vierdimensionale ‘bol’) en kreeg dit Higgsveld na spontane symmetriebreking overal een veldsterkte met een waarde groter dan nul (de vacuümverwachtingswaarde) met een intrinsiek afstotende werking (beter bekend als donkere energie), waarbij het de vorm van een hypersfeer behield.

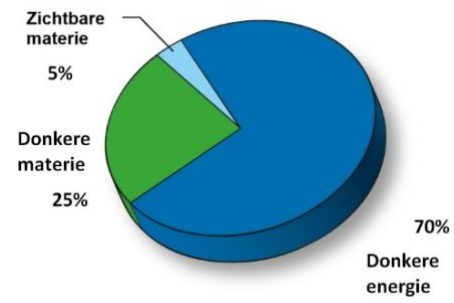
5. Verleden en toekomst bestaan niet. Alleen het heden bestaat en is te omschrijven als alle ‘energetische’ gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid. De kleinste betekenisvolle eenheid van het heden is één trilling van één elementair deeltje (meer specifiek één gelijktijdige trilling van alle elementaire deeltjes in het heelal). Tijd is dan ook slechts een door de mens bedacht begrip om de wereld om ons heen te kunnen beschrijven (voorzien van een meetinstrument). Het begrip ‘ruimtetijd’ kán dan ook géén fysiek medium zijn. Zwaartekracht is dan ook géén gekromde ruimtetijd, zwaartekracht is een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Zwaartekracht is een energetisch (gravitationeel) potentiaalverschil met een toenemende veldsterkte richting massa met gravitonen als kracht overbrengende deeltjes. In tegenstelling tot de speciale relativiteitstheorie die haar status als ‘fundamentele’ theorie heeft verloren (zie het eerste postulaat), behoudt de algemene relativiteitstheorie wel degelijk haar status als ‘fundamentele’ theorie, wanneer in het begrip ‘ruimtetijd’ de vierde dimensie ‘tijd’ wordt vervangen door een vierde dimensie ‘ruimte’ (zie het vierde postulaat).

6. Een zwart gat is géén wiskundige singulariteit (*algemene relativiteitstheorie*). In gevallen van zwaartekracht met een bijna onmetelijke energie (zoals bij zwarte gaten) is het uiteinde van deze zwaartekracht gevuld met een fuzzball, een gigantische kluwen van trillende snaren (*snaartheorie*), waar invallende fotonen onderdeel worden van deze fuzzball en deze fuzzball dus ook geen fotonen kán uitstralen. De *fuzzballtheorie* van Mathur uit 2001 stelt dat wanneer de zwaartekracht nóg sterker wordt dan bij een neutronenster, de neutronen zelf uiteenvallen. De fundamentele snaren waaruit alle deeltjes bestaan, gaan zich ontwarren en vormen samen één enorme, macroscopische kluwen van trillende snaren, een fuzzball. Waar in de *algemene relativiteitstheorie* deze fuzzball nog een hypothetisch object is, is de fuzzball in de *Higgsveld equivalentietheorie* een echte kluwen van trillende snaren in een gebogen hypersfeer, waarmee direct het probleem van de informatie paradox uit 1976 en het probleem van de firewall paradox uit 2012 zijn opgelost.

   Deze postulaten geven aanleiding anders aan te kijken tegen de huidige natuurkunde. Onderstaand is een vergelijking gemaakt tussen de huidige natuurkunde en de *Higgsveld equivalentietheorie* in een tweetal kolommen. Links de huidige natuurkunde en rechts de *Higgsveld equivalentietheorie*.

Huidige natuurkunde	Higgsveld equivalentietheorie
Massa ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes).	**Massa** ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes).
Het **heelal** is een passieve geometrische achtergrond. Het heelal is gevuld met het Higgsveld (een alom aanwezig energieveld van higgsbosonen).	Het **heelal** is een fundamenteel fysiek medium. Het heelal is niet gevuld met het Higgsveld, het heelal en het Higgsveld zijn logisch equivalent. Het heelal ≡ Higgsveld. Het heelal en het Higgsveld zijn één en hetzelfde!
Tijd is een opéénvolging van gebeurtenissen.	**Tijd** is een begrip die we als mens hebben bedacht, om de wereld om ons heen te kunnen beschrijven (voorzien van een meetinstrument). Zie bijlage 1.
Verleden, **heden** en toekomst maken deel uit van de ruimtetijd.	Verleden bestaat niet meer, toekomst moet nog komen. Alleen het **heden** bestaat, te omschrijven als: "*alle 'energetische' gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid*". *Kwantumtheorie* geeft aan dat de kleinst mogelijke betekenisvolle eenheid van het heden één trilling van één elementair deeltje is. Meer specifiek voor het heelal, één gelijktijdige trilling van alle elementaire deeltjes in het heelal.
Ruimte is een flexibel weefsel (metriek stelsel van hoogte, lengte en breedte).	**Ruimte** is een begrip die we als mens hebben bedacht, om de wereld om ons heen te kunnen beschrijven in de vorm van hoogte, lengte en breedte (voorzien van een meetinstrument).
Het heelal heeft een vlakke geometrie (een **vierdimensionale ruimtetijd**). Dit betekent dat evenwijdige lijnen evenwijdig blijven en dat de som van de hoeken van een driehoek 180 graden is.	Het heelal heeft de vorm van een **hypersfeer (een ruimtelijk vierdimensionale 'bol'**). Als je hierin in een rechte lijn blijft vliegen, kom je uiteindelijk terug op je startpunt. Kenmerk van een heelal in de vorm van een hypersfeer is dat élk punt in het heelal het middelpunt van het heelal is. Kenmerk van een heelal in de vorm van een hypersfeer is ook, dat sterrenstelsels niet van ons vandaan vliegen, maar dat alleen de tussenruimte tussen deze sterrenstelsels groter wordt. Sterrenstelsels staan al vanaf de oerknal op dezelfde plek in het heelal.

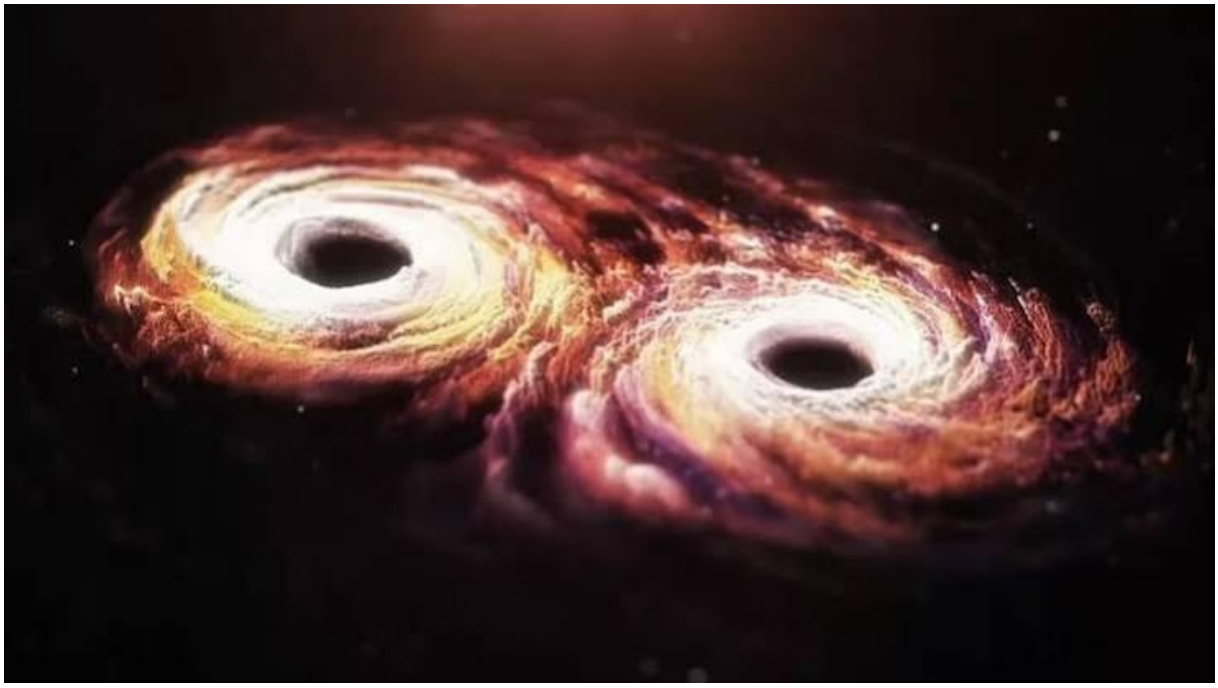
Huidige natuurkunde	Higgsveld equivalentietheorie
Lengtecontractie, relativistische formule en relatieve tijd (*speciale relativiteitstheorie*) verklaren 'mislukking' **Michelson en Morley experiment**	Het foton bezit géén koppelingsconstante met het Higgsveld, waardoor het zich ongehinderd door het Higgsveld verplaatst. Dit verklaart de constante lichtsnelheid zonder het toepassen van relativistische tijd-ruimte-transformaties (lengtecontractie en relatieve tijd). Het geeft een nieuwe verklaring voor de uitkomst van het **Michelson en Morley experiment** (zie hoofdstuk 3).
Volgens de *algemene relativiteitstheorie* is **zwaartekracht** een gekromde ruimtetijd. Massa creëert deze gekromde ruimtetijd.	In de *Higgsveld equivalentietheorie* is **zwaartekracht** geen kromming van de ruimtetijd, maar een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Massa creëert dit gekromd energieveld (gravitatieveld). Zwaartekracht is een energetisch (gravitationeel) potentiaalverschil met een toenemende veldsterkte van het zwaartekrachtveld richting massa. Gravitonen geven vorm aan dit gravitatieveld met een aantrekkende werking.
Een **zwart gat** is volgens de *algemene relativiteitstheorie* een gebied in de ruimte waar een enorme hoeveelheid massa is samengeperst in een extreem klein volume (een singulariteit). Hierdoor is de zwaartekracht zo sterk dat niets (zelfs het licht) niet meer kan ontsnappen (waarnemingshorizon). Achter de waarnemingshorizon zou volgens de *speciale relativiteitstheorie* tijd en ruimte niet meer bestaan, waardoor informatie definitief verloren gaat (dat wordt de *informatie paradox genoemd*) en er een verschil zit tussen een waarnemer die niets merkt van het passeren van de waarnemingshorizon (*algemene relativiteitstheorie)* en een waarnemer die bij het passeren van de waarnemingshorizon direct zou verbranden (kwantummechanica). Dit wordt de *firewall paradox* genoemd.	Een **zwart gat** is volgens de *fuzzballtheorie* uit 2001 een hypothetisch gigantische kluwen van trillende snaren (*snaartheorie*). De waarnemingshorizon is de buitenkant van deze fuzzball, waar de zwaartekracht aan het oppervlak zo gigantisch groot is, dat fotonen er onmogelijk uit kunnen ontsnappen (nog beter, in een fuzzball kunnen zich helemaal geen fotonen vormen, laat staan ontsnappen). Met de *Higgsveld equivalentietheorie* is een fuzzball geen hypothetisch object meer, maar een werkelijk fysiek object en verdwijnen de *informatie paradox* (de informatie blijft behouden) en *firewall paradox* (de waarnemer die op de buitenkant van de fuzzball valt wordt direct onderdeel van de fuzzball).

Huidige natuurkunde	Higgsveld equivalentietheorie
Donkere materie is nog niet gevonden. Omdat de randen van sterrenstelsels veel sneller draaien dan mogelijk zou zijn op basis van de zichtbare materie alleen, zou zich daar meer dan vijf keer zo veel materie als de zichtbare hoeveelheid materie moeten bevinden, maar dan in de vorm van donkere materie. Deze niet zichtbare materie met bijbehorende zwaartekracht zou verantwoordelijk zijn voor het effect, zichtbaar aan de randen van sterrenstelsels.	Bij de oerknal was het ruimtelijk vierdimensionaal heelal (hypersfeer) niet volledig 'vlak' (glad als een pingpongbal), maar veroorzaakten kleine temperatuurschommelingen een hypersfeer met 'putjes' (vergelijkbaar met een golfbal voorzien van putjes). Een hypersfeer, die wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van vele miljarden kleine 'putjes', die later de basis voor sterrenstelsels vormden. Met deze 'putjes' is de ruimte dusdanig vervormd, dat daarmee het sneller draaien van de randen van sterrenstelsels kan worden verklaard. Het zoeken naar **donkere materie** kan daarmee worden gestopt.
Donkere energie is nog niet gevonden. Het is een hypothetische vorm van energie in het heelal die verantwoordelijk zou zijn voor de versnelling van de uitdijing van het heelal. Donkere energie is overal en gelijkmatig verdeeld in het heelal. Ze gedraagt zich alsof ze een negatieve zwaartekracht uitoefent.	Het Higgsveld is een scalair veld en heeft een fundamenteel intrinsiek afstotende werking (higgsbosonen vertonen een effectieve afstoting op zichzelf, vergelijkbaar met hoe gelijke ladingen elkaar afstoten). Het Higgsveld is dan ook de lang gezochte **donkere energie** (liever spreken we van niet-zichtbare energie). Aangezien het Higgsveld in zijn huidige 'rusttoestand' (vacuümwaarde) overal in het heelal een constante energie-inhoud heeft, drijft deze intrinsieke afstotende werking de uitdijing van het heelal aan.
 **Zichtbare materie** (5% van de energie in het heelal): Dit zijn protonen, neutronen en elektronen, alles wat we kunnen zien (sterren, gas, planeten). **Donkere materie** (25% van de energie in het heelal): Een nog **onbekende** materie die geen licht uitzendt, maar wel zwaartekracht uitoefent en zorgt voor de structuur van sterrenstelsels. **Donkere energie** (70% van de energie in het heelal): Een nog **onbekende** vorm van energie die verantwoordelijk is voor de versnelde uitdijing van het heelal.	 **Zichtbare energie** (5% van de energie in het heelal): Dit zijn protonen, neutronen en elektronen, alles wat we kunnen zien (sterren, gas, planeten). **Niet-zichtbare energie** (95% van de energie in het heelal): Dit is voor het overgrote deel de energie van het Higgsveld die verantwoordelijk is voor de versnelde uitdijing van het heelal.

Hoofdstuk 2 Bewijzen Higgsveld equivalentietheorie

Eén van vijf postulaten van de Higgsveld equivalentietheorie is dat een zwart gat géén wiskundige singulariteit is, maar een fuzzball, een gigantische kluwen van trillende snaren (snaartheorie), waar invallende fotonen onderdeel worden van deze fuzzball en deze fuzzball dus ook geen fotonen kán uitstralen (zie ook bijlage 3).

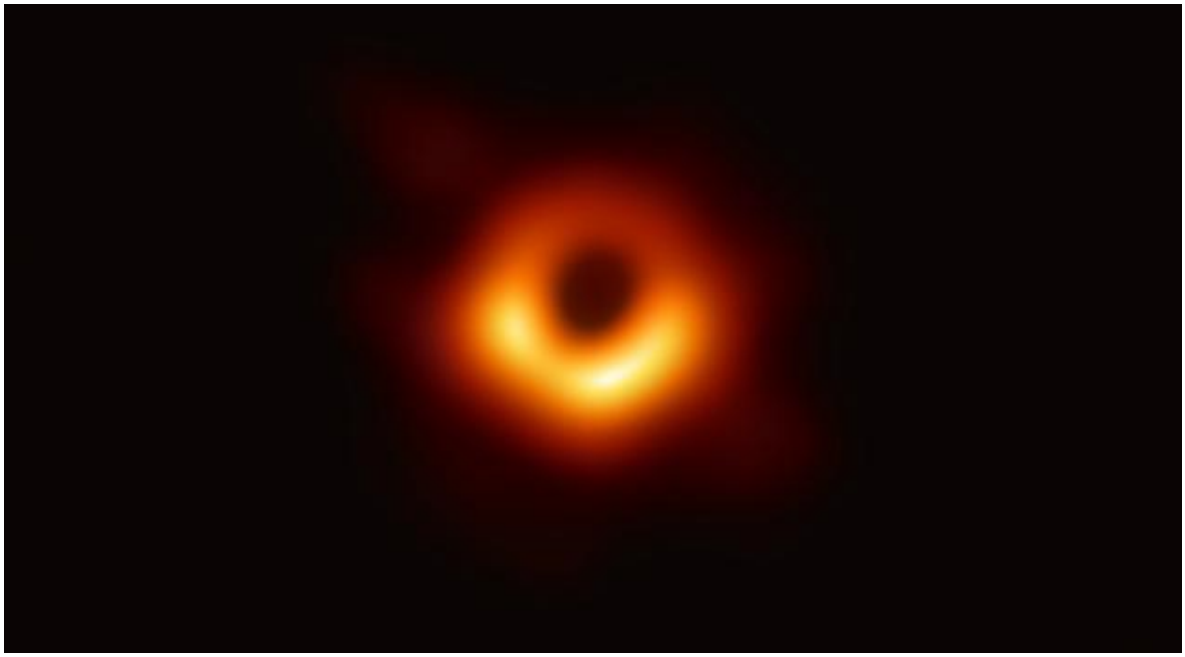
Verbazingwekkend zijn de grote hoeveelheid bewijzen hiervoor sinds 2015.



Illustratie van de botsing van twee zwarte gaten (Bron https://www.nu.nl/wetenschap)

Op 14 september 2015 deed de Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) de eerste waarneming van zwaartekrachtsgolven van twee botsende zwarte gaten. De data van LIGO laten zien met 99,6% zekerheid zien (zie hoofdstuk 6) dat een zwart gat een fuzzball is.

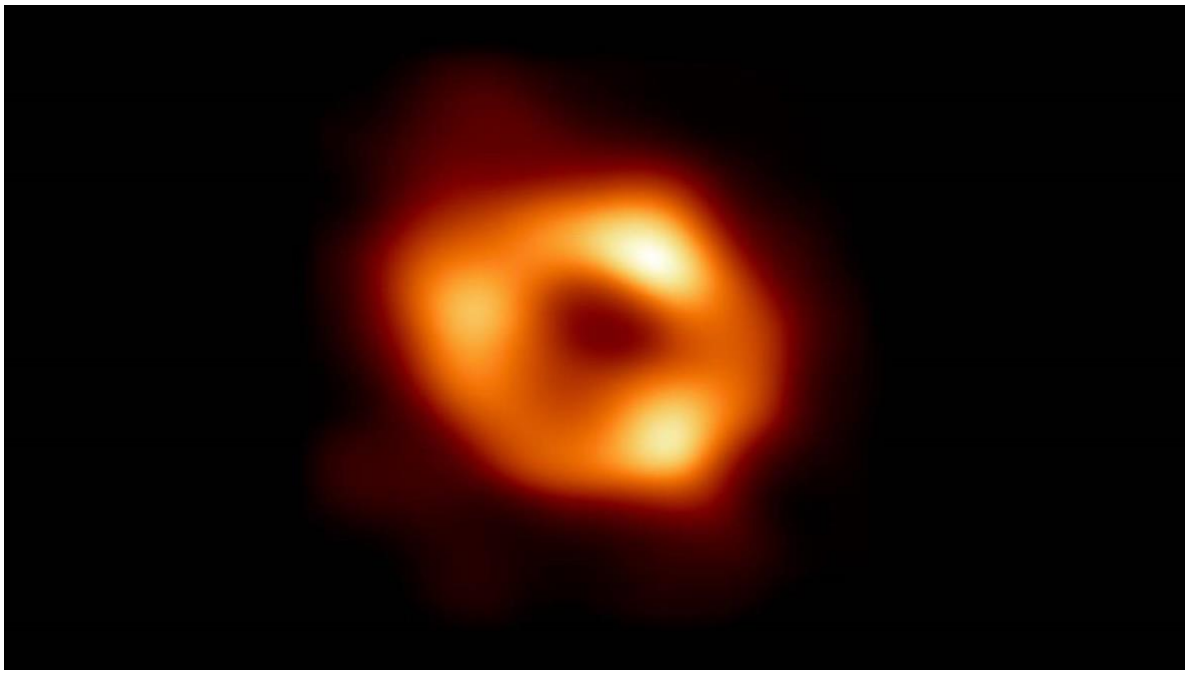
LIGO heeft daarmee met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid aangetoond dat een zwart gat een fuzzball is en géén singulariteit en dat zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd is, maar een gekromd energieveld (zwaartekrachtsveld).



Eérste foto van een zwart gat gemaakt met behulp van de Event Horizon Telescope, het superzwaar zwart gat in het centrum van het sterrenstelsel Messier 87 (M87), gepubliceerd op 10 april 2019

Eerste foto van een zwart gat van M87 op 55 miljoen lichtjaar, gepubliceerd op 10 april 2019, gemaakt door de Event Horizon Telescope (EHT). Een zwart gat met een massa van ongeveer 6,5 miljard keer die van onze zon en een diameter van de waarnemingshorizon van circa 40 miljard kilometer, oftewel zo'n vier keer de diameter van ons zonnestelsel.

Belangrijk om te weten dat deze foto dus een object van 55 miljoen jaar oud is en dat de waarnemingshorizon hier vier keer groter is dan ons zonnestelsel!



Twéède foto van een zwart gat gemaakt met behulp van de Event Horizon Telescope, het superzwaar zwart gat in het centrum van onze Melkweg Sagittarius A*, gepubliceerd op 12 mei 2022.

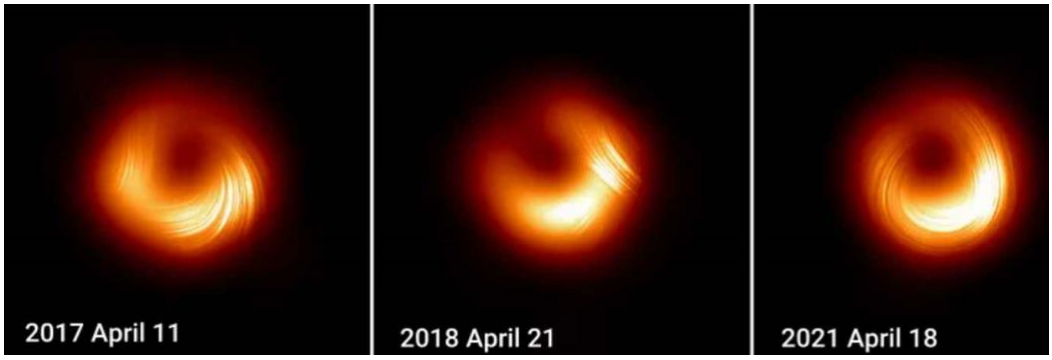
Tweede **foto van een zwart gat** van Sagittarius A* op 26.000 lichtjaar (in het centrum van onze Melkweg), gemaakt door de EHT, gepubliceerd op **12 mei 2022.** Een zwart gat met een massa van ruim 4 miljoen keer die van onze zon en een diameter van de waarnemingshorizon van ca 25 miljoen kilometer (18 keer de diameter van onze zon).

Belangrijk om te weten dat deze foto van het centrum van onze Melkweg dus een object is van 26.000 jaar oud en dat de waarnemingshorizon hier 18 keer groter is dan onze zon!

Het zwart gat van M87 zou volgens de *algemene relativiteitstheorie* een singulariteit bevatten met een massa van 6,4 miljard maal die van onze zon, achter een waarnemingshorizon twee keer groter dan ons zonnestelsel, waar de natuurwetten volgens de speciale relativiteitstheorie niet meer zouden gelden.

Beide foto's van deze zwarte gaten tonen wel degelijk aan dat er informatie vanuit het centrum afgeven wordt aan bijbehorende waarnemingshorizon. Informatie welke afmeting deze waarnemingshorizon moet hebben via een gebied waar de tijd stil staat en informatie dus niet doorgeven kán worden.

Dat de tijd helemaal niet stil staat achter de waarnemingshorizon, blijkt uit het feit dat we sinds 2012 een andere verklaring voor de uitkomst van het experiment van Michelson en Morley kunnen geven. Beide foto's ondersteunen deze andere verklaring van het Michelson en Morley experiment (zie hoofdstuk 3).



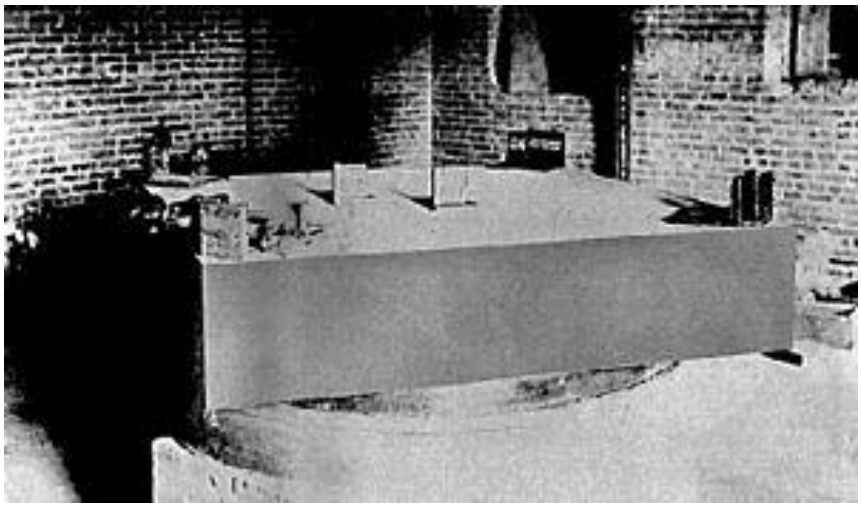
Illustratie polarisatiepatronen M87 (bron: Radboud Universiteit)

Uit een publicatie van de Radboud Universiteit van 17 september 2025 blijkt dat de EHT bij waarnemingen over meerdere jaren veranderende polarisatiepatronen gezien heeft bij het zwart gat M87. De geïllustreerde beelden laten een dynamische omgeving met veranderende polarisatiepatronen zien – de richting waarin magnetische golven rondom een zwart gat zich bewegen – in de buurt van het zwart gat M87.

Tussen 2017 en 2021 keerde het polarisatiepatroon om: in 2017 leken de magnetische velden in één richting te draaien, in 2018 stabiliseerden ze zich en in 2021 keerden ze om en draaiden ze in de tegenovergestelde richting. Dit duidt op een evoluerende, turbulente omgeving waarin magnetische velden een cruciale rol spelen bij het bepalen hoe materie in het zwarte gat valt. Dit beeld past niet bij een singulariteit zoals beschreven in de *algemene relativiteitstheorie*.

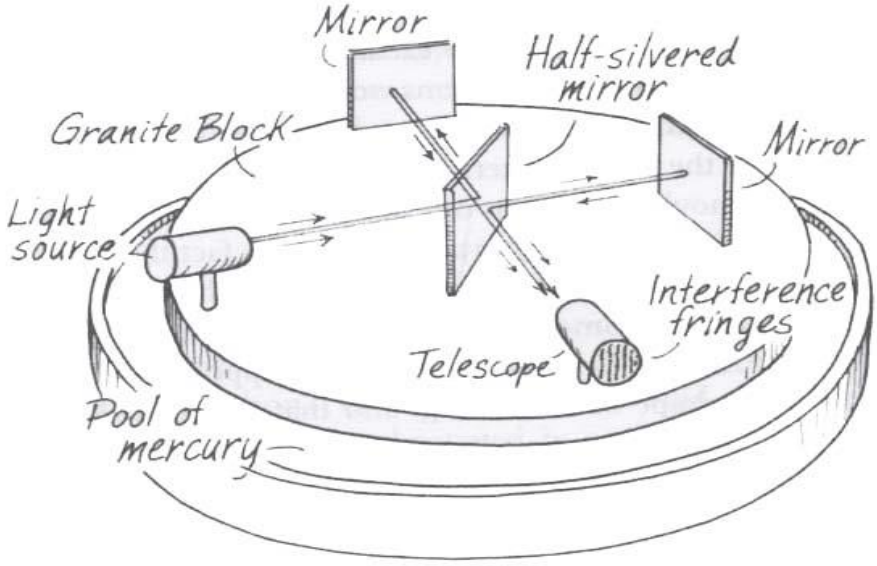
Hoofdstuk 3 Nieuwe verklaring uitkomst Michelson en Morley experiment 1887

Eind 19e eeuw dacht de theoretische natuurkunde dat het heelal gevuld zou zijn met ether als medium waarin de lichtgolven zich zouden voortbewegen (net als geluidsgolven door de lucht). In **1887** bedachten **Albert Michelson** (1852 – 1931) en **Edward Morley** (1838 – 1923) een experiment om aan te tonen dat dit medium ether ook daadwerkelijk bestond [1)].



Hoe dit experiment er in werkelijkheid uitzag, laat deze foto uit 1887 zien.

Met behulp van een interferometer wilden Michelson en Morley het bestaan van ether als medium voor lichtgolven aantonen. Het experiment bestond uit een interferometer, een lichtbron en (halfdoorlatende) spiegels, gemonteerd op een blok graniet dat dreef op een plas kwik. Aangezien de aarde door die ether beweegt, zou de lichtsnelheid van lichtgolven ten opzichte van de ether dus verschillend moeten zijn, naargelang de aarde met de ether mee of er tegenin draaide.



[1] **Michelson, A.A. and Morley, E.W.**: Am. J. Sci., 134, 333 (1887).

De interferometer was cruciaal om minimale verschillen in de lichtsnelheid te kunnen meten door een lichtbundel te splitsen en weer samen te voegen. Hoe de opstelling ook werd gedraaid, het apparaat toonde aan dat er geen verschil was in de lichtsnelheid langs twee loodrechte paden. Omdat de snelheid van het licht gelijk bleef, kon het heelal daarom géén ether bevatten.

Omdat het bestaan van ether niet kon worden aangetoond, noemt de huidige theoretische natuurkunde dit experiment nog steeds **het meest beroemde mislukte experiment uit de geschiedenis**.

De merkwaardige conclusie van het experiment was dat de lichtsnelheid in alle richtingen gelijk was, ondanks het verschil in snelheid van de lichtbron (met de draaiing van de aarde mee of hier haaks op). Meer simplistisch, de snelheid van het licht opgeteld bij de snelheid van de lichtbron was altijd gelijk aan de snelheid van het licht (onafhankelijk van de snelheid van de lichtbron).

Om het feit te verklaren dat in het experiment van Michelson en Morley de snelheid van het licht steeds hetzelfde bleef, bedacht **George FitzGerald** in **1889** dat objecten fysisch precies zo veel inkrimpen of uitrekken dat het effect van de beweging van een waarnemer wordt gecompenseerd en de lichtsnelheid constant blijft (in het geval van het experiment van Michelson en Morley de afgelegde afstand die het experiment door de ruimte had afgelegd verdisconteerd met de afstand die het licht in het experiment had afgelegd vanuit diverse richtingen). Hij noemde dit **lengtecontractie** [2)].

In **1892** kwam de Nederlandse natuurkundige **Hendrik Antoon Lorentz** met zijn beroemde relativistische formule $L = L_o\sqrt{(1-v^2/c^2)}$ waarmee hij deze lengtecontractie kon berekenen [3)].

Voor de liefhebber: L vertegenwoordigt de lengte (maar ook de afgelegde weg) van het bewegend object volgens de waarnemer in het stationaire referentiekader, terwijl L_o de eigen lengte (maar ook de afgelegde weg) van het bewegend object vertegenwoordigt bij snelheid v (die volgens de waarnemer in het bewegend object gelijk blijft aan de lengte bij het vertrek uit het stationaire referentiekader).

De formule wordt ook wel beschreven als $L = L_o/\gamma$, waarbij *γ (ypsilon) de Lorentzfactor* $\gamma = 1/\sqrt{(1-v^2/c^2)}$ wordt genoemd.

Albert Einstein bedacht in **1905** dat het niet alleen lengtecontractie was, maar dat ruimte en tijd met elkaar verweven zijn in de eenheid van snelheid (meters per seconde), waarin lengtecontractie en relatieve tijd (tijddilatatie) gezamenlijk uitvoering geven aan het *relativiteitsprincipe* en de *absolute lichtsnelheid*.

Dit idee van Einstein werd de *speciale relativiteitstheorie* [4)] genoemd, omdat tijd volgens deze theorie 'relatief' kan zijn, oftewel 'rekbaar' is en dat de snelheid van het licht constant is, onafhankelijk van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam.

---

[2] **FitzGerald, G.F.**: *The ether and the earth's atmosphere*, Science deel 13, nr. 328, p. 390, jaar 1889

[3] **Lorentz, H.A.:** La théorie electromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants, Archives néerlandaises des Sciences exactes er naturelles, 1892.

[4] **Einstein, A:** (1905). Publicatie Nr 4. (Annalen der Physik, 17 pp. 891-921)

In 1905 beschreef Einstein zijn *speciale relativiteitstheorie* in een tweetal postulaten:

1. *Relativiteitsprincipe:* de beschrijvingen van alle verschijnselen, gegeven door twee willekeurige inertiële waarnemers (waarnemers die niet versneld of vertraagd worden) in eenparige relatieve beweging (een beweging waarbij de grootte van de snelheid en de bewegingsrichting over een bepaalde tijd constant blijven), zijn even geldig; de wetten van de natuurkunde zijn voor beiden hetzelfde.
2. Eén van deze wetten is de *absoluutheid* van de lichtsnelheid in vacuüm; deze snelheid is dezelfde voor twee willekeurige inertiële waarnemers in eenparige relatieve beweging.

Einstein kon deze relatieve tijd berekenen met het omgekeerde van de relativistische formule voor lengtecontractie met de formule $\Delta t = \Delta t_o / \sqrt{(1-v^2/c^2)}$.

Voor de liefhebber: Δt is de relatieve tijd, oftewel de tijd van het bewegend object (b.v. een raket) volgens de waarnemer in het stationaire referentiekader (b.v. de aarde) bij snelheid v van het bewegend object, terwijl Δt_o de tijd vertegenwoordigt die verstreken is in het stationaire referentiekader (b.v. op aarde), en volgens de waarnemer in zijn raket gelijk is aan zijn eigen tijd in zijn raket.

Om de speciale relativiteitstheorie te baseren op meetbare, fysische grootheden heeft Einstein samen met zijn collega's Minkowski, Lorentz en Weyl de term 'waarnemers' vervangen door wiskundige inertiaalstelsels (in dit stelsel staat een voorwerp waarop geen kracht werkt stil, of beweegt het met een vaste snelheid in een rechte lijn) en coördinatenstelsels (een hulpmiddel om de exacte plek van een punt in een vlak of in de ruimte vast te leggen). De postulaten uit 1905 werden in 1923 [5)] vervangen door twee nieuwe postulaten:

1. … voor alle coördinatensystemen waarvoor de vergelijkingen van de mechanica geldig zijn, gelden ook dezelfde elektrodynamische en optische wetten.
2. … het licht in de lege ruimte zich steeds met een bepaalde snelheid voortplant, onafhankelijk van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam.

Op **4 juli 2012** werd bekendgemaakt dat met behulp van de Large Hadron Collider in CERN een deeltje is ontdekt, waarvan de massa overeenkomt met die van het higgsboson (populair wetenschappelijk ook wel 'godsdeeltje' genoemd). In de kwantumtheorie is er geen strikt onderscheid tussen 'deeltje' of 'veld', het zijn verschillende aspecten van dezelfde fundamentele werkelijkheid. Deeltjes worden gezien als lokale gekwantiseerde 'rimpelingen' van een onderliggend veld.

In plaats van deeltjes als harde, afzonderlijke balletjes te zien, stelt de kwantumtheorie dat het heelal gevuld is met verschillende velden (zoals het Higgsveld, het elektromagnetisch veld, de sterke- en zwakke kernkrachtvelden en het gravitatieveld) en dat een deeltje slechts een energietoestand in dat veld is. Een deeltje is dan ook niets anders dan de kleinst mogelijke trilling in zo'n veld.

Het higgsboson oftewel Higgsveld (een energieveld) verklaart het bestaan van traagheid van massa (een eigenschap van materie om zich te verzetten tegen elke verandering in haar bewegingstoestand) door de toevoeging van dit energieveld aan het Standaardmodel van de Elementaire deeltjes. Het Higgsveld is volgens de huidige theoretische natuurkunde dan ook een alom in het heelal aanwezig energieveld, waar alle deeltjes hun massa aan ontlenen.

---

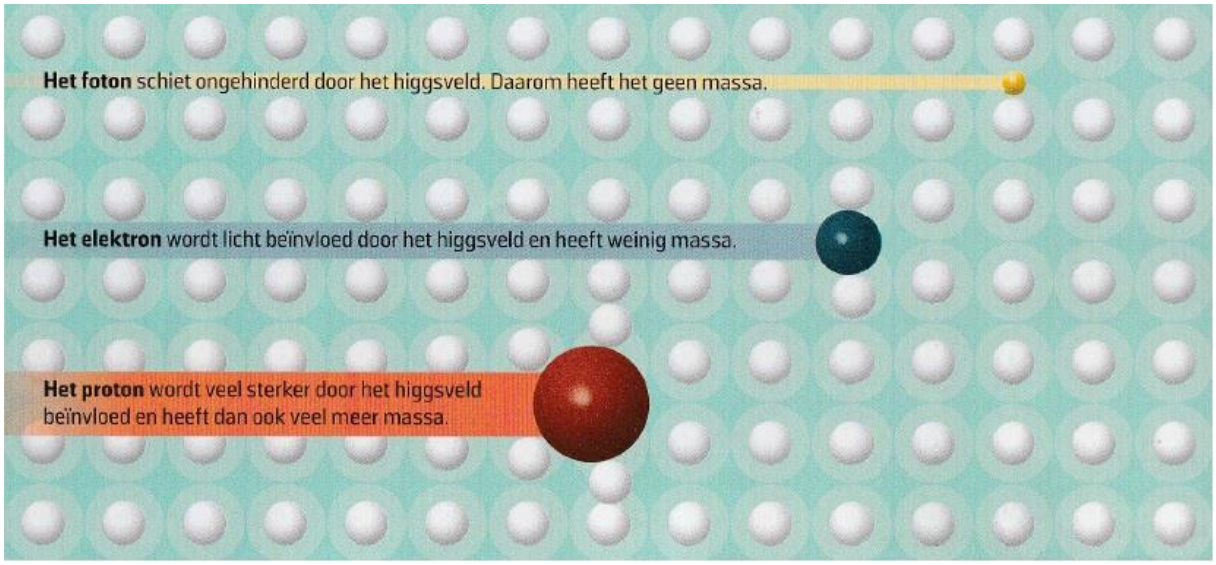
[5] **Einstein, A, Lorentz H.A., Minkowski, H en Weyl, H:** The principle of Relativity, 1923 (Dover)

Het mooist werd deze nieuwe realiteit omschreven door prof. dr. Robbert Dijkgraaf (voormalig directeur van het Institute for Advanced Study in Princeton), die zei: “Het is als een vis die ontdekt dat hij in het water leeft”. Het heelal is dus géén lege ruimte. Het is gevuld met een energieveld.

Higgsbosonen zijn dus scalaire bosonen. Oftewel het Higgsveld is een scalair veld. Een scalair veld wordt beschreven door een functie die de waarde ervan op elke locatie in de ruimte en tijd weergeeft. Kortom het Higgsveld is een alom in het heelal aanwezig energieveld.

Belangrijke les uit het standaardmodel (zie hoofdstuk 4) is dat de massaloze fotonen geen koppelconstante met het Higgsveld hebben en zich ‘ongehinderd’ door het Higgsveld kunnen bewegen.

Om te illustreren hoe het komt dat fotonen geen massa hebben (en zich dus ongehinderd door het Higgsveld kunnen bewegen) en dat bijvoorbeeld elektronen weinig massa en protonen veel massa hebben, heeft het tijdschrijf WETENSCHAP IN BEELD SPECIAL onderstaande illustratie opgesteld.



Illustratie WETENSCHAP IN BEELD SPECIAL 1/2025

Gevolg is dat massaloze deeltjes zich anders gedragen dan deeltjes met massa. Dat dit ook intuïtief klopt, laat volgend gedachtenexperiment zien.

“Neem een astronaut van het International Space Station die een ruimtewandeling maakt. De astronaut laat per ongeluk zijn hamer los. Deze blijft met een snelheid van 28.000 km/h naast hem hangen. Wanneer deze ruimtevaarder een lichtbundel vanaf het ISS verstuurd (bijvoorbeeld haaks op zijn baan om de aarde) beweegt de foton zich niet mee met het ISS in zijn baan om de aarde”.

Waar dit verschil in zit? De hamer heeft een naar verhouding zelfde hoeveelheid kinetische energie als het ISS. Een foton behoud zijn eigenschap onafhankelijk van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam als gevolg van het ongehinderd kunnen bewegen door het Higgsveld.

Eigenlijk had de onderzoeksvraag van Michelson en Morley in 1887 moeten zijn: "*Heeft een veranderende bewegingstoestand van deeltjes met massa (het uitzendende lichaam) invloed op de bewegingstoestand van deeltjes zonder massa (fotonen)?"*

Wat blijkt? De bewegingstoestand van deeltjes zonder massa (fotonen) blijft onveranderd bij het wijzigen van de bewegingstoestand van deeltjes met massa (het uitzendende lichaam).

In plaats van te spreken van het meest beroemde mislukte experiment uit de geschiedenis moeten we constateren dat het experiment (hoewel onbedoeld) inderdaad aantoont dat het licht in de lege ruimte zich steeds met een bepaalde snelheid voortplant, onafhankelijk van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam (het tweede postulaat van de speciale relativiteitstheorie zoals beschreven in 1923), zonder relativistische tijd-ruimte-transformaties toe te passen (lengtecontractie en relatieve tijd). Wat mij betreft ontvangen Michelson en Morley hiervoor alsnog (postuum) een Nobelprijs voor de Natuurkunde (net zoals Penzias en Wilson voor hun toevallige ontdekking van de kosmische achtergrond straling in 1978 hiervoor een Nobelprijs voor de Natuurkunde hebben gekregen).

Keiharde conclusie is dan ook dat zowel lengtecontractie als tijddilatatie definitief tot het verleden behoren.

Volgens Maxwells theorie over elektromagnetische uit 1865 bestaat licht uit golven [6)]. Volgens één van Maxwells vergelijkingen wordt de snelheid van elektromagnetische straling in vacuüm bepaald door het omgekeerde van de wortel uit vermenigvuldiging van elektrisch permittiviteit van vacuüm (Epsilon nul) en magnetische permeabiliteit van vacuüm (Mu nul). Omdat beide natuurconstanten zijn, is de snelheid van het licht ook een natuurconstante. De snelheid van elektromagnetische straling in vacuüm is daarmee ook een **natuurconstante**.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

Elektrisch permittiviteit is een natuurkundige grootheid die beschrijft hoe een elektrisch veld een medium beïnvloedt en erdoor beïnvloed wordt. Magnetische permeabiliteit geeft aan, in welke mate een materiaal magnetisch polariseert, dus zich richt naar het magneetveld en het zo versterkt. De snelheid van elektromagnetische straling wordt uitgedrukt met de term 'c' van het Latijnse 'celeritas' (snelheid).

Als we nu de twee postulaten uit 1923 zouden moeten herschrijven, dan wordt dit:
1. Alle natuurwetten zijn overal geldig.
2. Het foton bezit géén koppelconstante met het Higgsveld, waardoor het zich altijd met dezelfde snelheid door het Higgsveld verplaatst.

Nu relativistische tijd-ruimte-transformaties (lengtecontractie en relatieve tijd) hun bestaansrecht hebben verloren en ook ruimtetijd geen entiteit is (zie ook bijlage 1), zien we dat de speciale relativiteitstheorie haar status als 'fundamentele' theorie verliest en dat de algemene relativiteitstheorie haar status als 'fundamentele' theorie behoudt, wanneer in het begrip 'ruimtetijd' de vierde dimensie 'tijd' wordt vervangen door een vierde dimensie 'ruimte'.

[6] **J. Clerk Maxwell**, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, Phil. Trans. Roy. Soc., vol. **155**, pp. 459 - 512 (1865).

Hoofdstuk 4 Kwantumtheorie

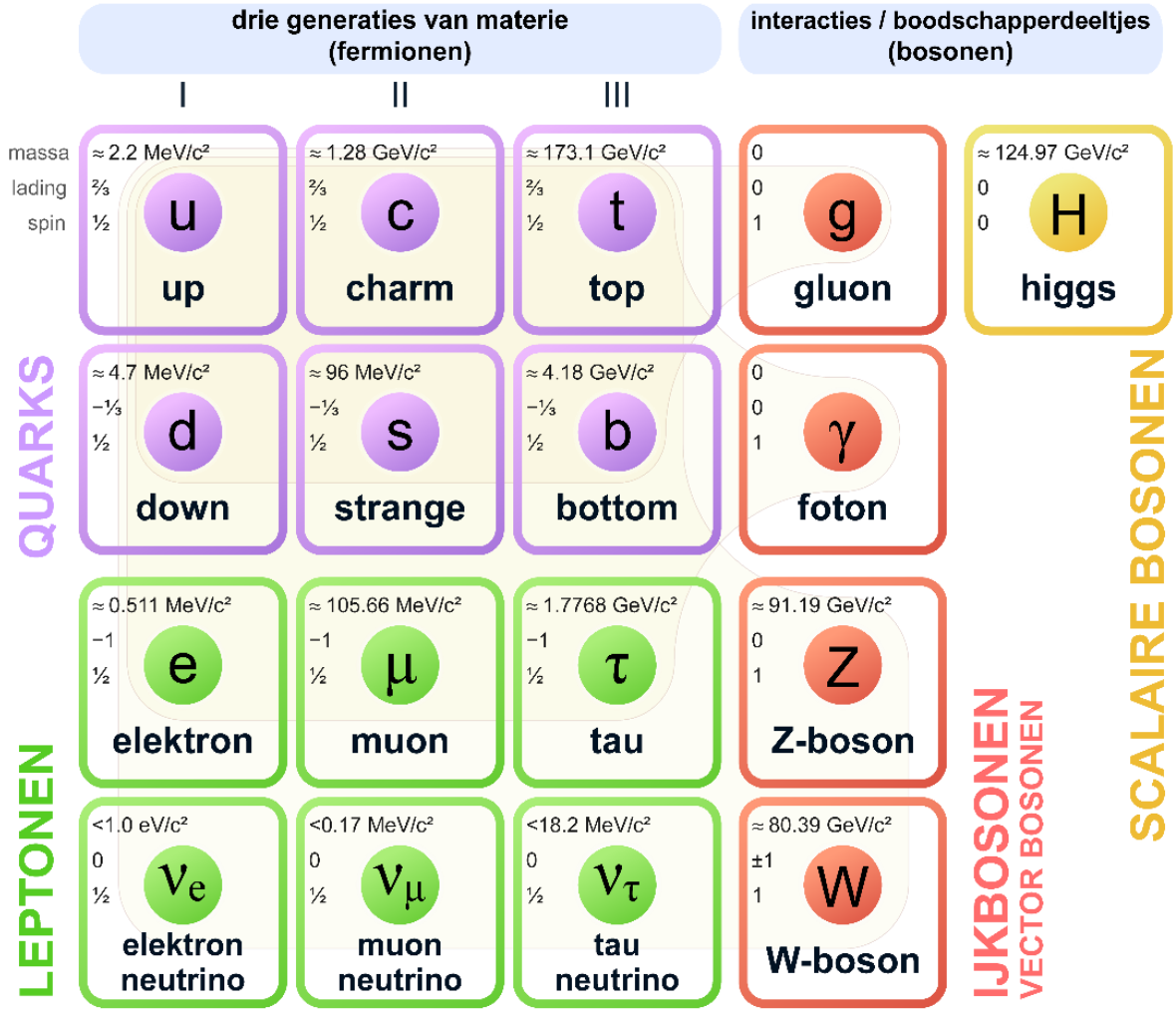
Als we ervan uitgaan dat alle fundamentele natuurkrachten gekwantiseerd moeten worden, dan voorspelt de kwantumtheorie dat de zwaartekracht een tensorboson heeft: het graviton. Dit deeltje is massaloos en heeft spin 2 (en is daarmee een tensorboson), in tegenstelling tot de ijkbosonen van de andere drie natuurkrachten (zoals het foton), die spin 1 hebben. Binnen de snaartheorie verschijnt het graviton op een natuurlijke manier als een trilling van een gesloten snaar.

Het graviton is een (vooralsnog) hypothetische deeltje dat hoort bij het gravitatieveld. Omdat dit deeltje vooralsnog niet is aangetoond is het graviton ook niet opgenomen in het Standaardmodel van de Elementaire Deeltjes (zie onderstaand). In de kwantumfysica worden krachten overgedragen door het continu uitwisselen van deeltjes. Als twee objecten met massa (of energie) elkaar aantrekken, doen ze dat in de kwantumtheorie door virtuele gravitonen naar elkaar toe te werpen. Wanneer een deeltje een graviton uitzendt of absorbeert, verandert zijn impuls, wat resulteert in de aantrekkingskracht die wij voelen. Waar het Higgsveld selectief werkt (sommige deeltjes merken er niks van en blijven massaloos, zoals fotonen), koppelt het graviton aan alles wat energie of impuls heeft. Omdat fotonen (licht) energie hebben, buigen ze wél af in een gravitatieveld, ondanks dat ze geen interactie hebben met het Higgsveld en dus geen rustmassa bezitten.

Het fundamentele verschil is dat het Higgsboson traagheid (massa) veroorzaakt, terwijl het hypothetische graviton de aantrekkingskracht tússen massa's overbrengt. Kort gezegd: het Higgsveld bepaalt hoe zwaar een deeltje is, en het graviton zorgt ervoor dat zware deeltjes elkaar aantrekken. Hieronder staat hoe beide deeltjes en hun bijbehorende velden op een volledig verschillende manier werken.

Kenmerk	**Het Higgsboson/Higgsveld**	**Het graviton/gravitatieveld**
Primaire functie	Geeft **massa (traagheid)** aan fundamentele deeltjes.	Brengt de **zwaartekracht** over tussen deeltjes met energie/massa.
Type deeltje	**Scalair boson** (Spin 0).	**Tensorboson** (Spin 2).
Bereik	Extreem kort (werkt allen binnen deeltjes zelf).	**Oneindig** bereik (*wiskundig gezien*).
Snelheid van interactie	Niet van toepassing (het is een constante achtergrond).	Beweegt met de **lichtsnelheid** (massaloos, net als het foton).
Status in de wetenschap	**Bewezen** (ontdekt in 2012 bij het CERN).	**Hypothetisch** (nog nooit direct waargenomen).

Standaardmodel van de Elementaire Deeltjes



In het Standaardmodel van de Elementaire Deeltjes zijn **Quark**s de fundamentele bouwstenen en vormen samen subatomaire deeltjes zoals protonen en neutronen. **Leptonen** zijn fundamentele deeltjes die niet kunnen worden opgedeeld in kleinere stukjes, zoals elektronen (elektronen draaien in atomen om de kern en zorgen voor chemische reacties en elektriciteit). **Bosonen** zijn subatomaire deeltjes die krachten en energie overdragen. **Gluonen** zijn het uitwisseldeeltje bij de sterke kernkracht, **fotonen** zijn het uitwisseldeeltje voor elektromagnetische kracht, **Z-bosonen** en **W-bosonen** zijn het uitwisseldeeltje bij de zwakke kernkracht, verantwoordelijk voor radioactiviteit, een afstotende interactie op korte afstand tussen elektronen, neutrino's en quarks.

Fermionen, deeltjes met halftallige spin, zijn de materiedeeltjes waaruit het heelal is opgebouwd. Bosonen, deeltjes met heeltallige spin, bestaan slechts tijdelijk voor het overbrengen van krachten (interacties, wisselwerkingen) tussen de fermionen. De twee typen deeltjes gedragen zich verschillend. Merk op dat fermionen een halftallige spin hebben, vectorbosonen een heeltallige spin en het scalaire higgsboson een spin nul. Spin is geen daadwerkelijke draaiing, maar een kwantummechanische eigenschap die het intrinsieke impulsmoment beschrijft. Ook zien we dat fotonen massaloos zijn (massa nul).

In de natuurkunde zijn vier **fundamentele natuurkrachten** bekend. Alle krachten volgen uit de vier fundamentele krachten. In volgorde van afnemende sterkte zijn dit:

	Magnitude t.o.v. zwaartekracht	reikwijdte	functie	ijkboson
sterke kernkracht	10^{40}	10^{-15} meter(ongeveer diameter van een proton)	houdt protonen en neutronen in de kern bij elkaar	gluonen
elektromagnetische kracht	10^{38}	oneindig (wiskundig gezien)	krachten tussen geladen deeltjes	fotonen
zwakke kernkracht	10^{15}	10^{-18} meter (ongeveer 0,1% van diameter proton	speelt een rol bij radioactief verval	W-bosonen en Z-bosonen
zwaartekracht	1	oneindig (wiskundig gezien)	houdt materie op grote schaal bij elkaar	gravitonen

Toelichting per kracht:

Zwaartekracht en elektromagnetische kracht: beiden hebben een oneindig bereik. De sterkte van deze krachten neemt af volgens de kwadratenwet. Hoe groter de afstand, hoe zwakker de kracht, maar de waarde wordt (*wiskundig gezien)* nooit exact nul. De reikwijdte van een natuurkracht wordt bepaald door de deeltjes die de kracht overbrengen. Deze deeltjes noemen we ijkbosonen (vaak aangeduid als krachtdeeltjes of dragers van de kracht). Bij zwaartekracht is het kracht overbrengend deeltje het graviton (een deeltje dat zowel een ijkboson als tensorboson is). Hoewel deze nog niet experimenteel is aangetoond, voorspellen natuurkundigen dat dit deeltje geen rustmassa heeft (massa = 0). Omdat het net als fotonen massaloos is, kan het oneindig lang blijven bestaan en reizen, wat zorgt voor de (*wiskundig gezien*) oneindige reikwijdte van de zwaartekracht. Bij de elektromagnetische kracht is het kracht overbrengend deeltje het foton (lichtdeeltjes). Net als het graviton heeft een foton geen rustmassa. Hierdoor kunnen fotonen zich door het hele heelal verplaatsen en heeft ook deze kracht een (*wiskundig gezien*) oneindige reikwijdte.
Sterke kernkracht: werkt alleen op subatomaire schaal binnen de atoomkern. Boven de 1^{-15} meter stort de kracht vliegensvlug in elkaar (exponentiele afname), waardoor deeltjes buiten de kern er absoluut niets meer van merken. Quarks worden bij elkaar gehouden door de sterke kernkracht, die wordt overgedragen door deeltjes die gluonen heten. Gluonen hebben zelf geen massa, wat theoretisch een oneindig bereik zou moeten geven. Echter, gluonen bezitten zelf 'kleurlading' (de lading van de sterke kracht). Hierdoor trekken gluonen *elkaar* aan en 'kleven' ze vast in een soort onbreekbare elastische buis (dit fenomeen heet *confinement*). Als je quarks te ver uit elkaar trekt, breekt het elastiek en ontstaan er nieuwe deeltjes. Dit beperkt de effectieve reikwijdte tot de diameter van een atoomkern (10^{-15} meter).
Zwakke kernkracht: heeft de allerkleinste reikwijdte van allemaal, minder dan de diameter van een enkel proton (1^{-18} meter). Dit extreem korte bereik komt doordat de deeltjes die deze kracht overbrengen (W- en Z-bosonen) erg zwaar zijn, waardoor ze maar een fractie van een seconde kunnen bestaan en geen grote afstand kunnen overbruggen. W- en Z-bosonen werken in op alle fundamentele materiedeeltjes: alle quarks en alle leptonen. Dit betekent dat de zwakke kernkracht de enige fundamentele natuurkracht is die invloed heeft op elk deeltje binnen het Standaardmodel (behalve het gluon en het foton zelf, alsmede het nog niet in het Standaardmodel opgenomen graviton). Bij de zwakke kernkracht zijn W- en Z-bosonen de kracht overbrengende deeltjes. Ze zijn extreem zwaar (zo'n 80 tot 91 keer zwaarder dan een compleet proton). Omdat het creëren van zoveel massa gigantisch veel energie kost, kunnen ze maar een fractie van een seconde bestaan voordat ze vervallen. Dit veroorzaakt de extreem korte reikwijdte van slechts 10^{-18} meter.

Massa versus gewicht

Er zit er een fundamenteel verschil tussen hoe higgsbosonen (het Higgsveld) massa laat ontstaan en hoe het graviton zwaartekracht over brengt (hoe wij gewicht voelen). Een fundamenteel verschil tussen **massa** en **gewicht**.

Het Higgsveld werkt voor de bouwstenen van ons lichaam — de elektronen en quarks — op precies dezelfde manier als voor de krachtdeeltjes: via de 'kosmische stroop' (het Higgsveld). Zonder het Higgsveld zouden de fundamentele deeltjes geen massa hebben. Ze zouden met de lichtsnelheid door het universum schieten en nooit atomen, moleculen, of levende cellen kunnen vormen. Het Higgsboson is de deeltjes-analogie van het Higgsveld. Dit veld is constant aanwezig in het hele universum, als een soort onzichtbare, kosmische 'stroop'. Wanneer fundamentele deeltjes (zoals elektronen of quarks) door dit veld heen bewegen, hebben ze er interactie mee. Hoe sterker een deeltje reageert op het Higgsveld, hoe meer het wordt afgeremd in zijn versnelling. Deze weerstand tegen versnelling noemen we traagheid of massa. Elektronen hebben een lichte wisselwerking met het Higgsveld. Ze voelen een klein beetje weerstand van de 'stroop', waardoor ze hun specifieke (vrij lichte) massa krijgen. Dankzij deze massa worden ze gevangen door atoomkernen en kunnen ze in banen rondom de kern blijven draaien, wat chemische verbindingen mogelijk maakt. Quarks (de deeltjes waaruit protonen en neutronen zijn opgebouwd) hebben een iets sterkere wisselwerking met het Higgsveld dan elektronen en krijgen daardoor wat meer massa.

Een proton of neutron bestaat uit drie quarks. Als je de ‘basismassa's’ die deze quarks van het Higgsveld krijgen bij elkaar optelt, kom je op een heel laag massagetal uit. Een proton bestaat uit twee up-quarks en één down-quark (netto lading +1).Een neutron bestaat uit twee down-quarks en één up-quark (netto lading 0). Ook elektronen hebben een laag massagetal (netto lading -1). Hoewel het Higgsveld cruciaal is om quarks en elektronen hun massa te geven, veroorzaak het Higgsveld slecht ongeveer 1% van het totale gewicht van jouw lichaam. De rest van de massa (‘restmassa’) van een proton of neutron bestaat uit pure bewegingsenergie en bindingsenergie (Einsteins beroemde formule $E=mc^2$). De sterke kernkracht houdt de quarks binnenin een proton met gigantische kracht bij elkaar via gluonen. De energie van dat kolkende, intense veld is zo groot dat die energie zich manifesteert als massa. Het Higgsveld geeft dus alleen massa aan *fundamentele* deeltjes. De **massa** van alledaagse objecten (protonen en neutronen) bestaat voor 99% uit de bindingsenergie ($E=mc^2$) van de sterke kernkracht die quarks bij elkaar houdt. De wijze waarop wij deze massa waarnemen als **gewicht** (op onze weegschaal) komt door de wijze waarop het graviton zwaartekracht over brengt.

zwaartekracht en Higgsveld equivalentietheorie

Binnen de gangbare natuurkunde wordt het heelal beschreven als een vierdimensionale ruimtetijd. Dit fundament is gelegd door Albert Einsteins algemene relativiteitstheorie. In plaats van ruimte en tijd als losse entiteiten te zien, combineert de natuurkunde ze tot één vloeiend weefsel met drie ruimtelijke dimensies lengte, breedte en hoogte (waarin we ons vrij kunnen bewegen) en één dimensie tijd (waarin we alleen lineair vooruit kunnen bewegen). Samen vormen deze vier componenten de *Minkowski-ruimtetijd*. Zwaartekracht wordt in deze context niet gezien als een traditionele aantrekkingskracht, maar als de vervorming en kromming van deze vierdimensionale structuur (hypersfeer) door de aanwezigheid van massa (zoals sterren en planeten).

Zwaartekracht ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Massa creëert dit gekromd energieveld (gravitatieveld). Zwaartekracht is een energetisch (gravitationeel) potentiaalverschil met een toenemende veldsterkte van het zwaartekrachtveld richting massa. Zwaartekracht is een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme.

Zoals we zagen is het graviton nog niet opgenomen in het Standaardmodel van de Elementaire Deeltjes. We weten dat een graviton een massaloze ijkboson is met spin 2. Spin 2 is de *enig*e spinwaarde die een kracht kan opleveren die universeel aantrekkend is, aan elle energie koppelt en licht kan afbuigen. We weten sinds de zonsverduistering in 1919 (en moderne foto's van zwarte gaten en sterrenstelsels) dat zwaartekracht de baan van het licht afbuigt.

Gluon: Heeft een **spin van 1**. Dit maakt het een **vectorboson**, net als het foton (lichtdeeltje). Krachten die worden overgedragen door spin-1 deeltjes kunnen zowel aantrekkend als afstotend zijn (denk aan positiviteit en negativiteit in het elektromagnetisme).
Graviton: Moet een **spin van 2** hebben (een **tensorboson**). Volgens de algemene relativiteitstheorie koppelt zwaartekracht aan de energie-impulstensor. Een kantumdeeltje dat deze kracht overdraagt, móét spin 2 hebben. Dit zorgt er ook voor dat zwaartekracht *altijd* aantrekkend is. Een gluon kan fysiek onmogelijk zijn spin veranderen van 1 naar 2.

In de theoretische natuurkunde (zoals de snaartheorie) bestaat er een *wiskundig* concept dat de **Double Copy-relatie** wordt genoemd, of BCJ-dualiteit, vernoemd naar de ontdekkers Bern, Carrasco en Johansson. Hierin laten zij zien dat de wiskunde achter een graviton (spin 2) berekend kan worden als het kwadraat (een double copy) van de wiskunde achter gluonen (spin 1).

De BCJ-ontdekking liet zien dat je de amplitude A van een gluon-interactie kunt opbreken in drie duidelijke wiskundige bouwstenen:

$$A_{\text{gluon}} = \frac{c \cdot n}{p}$$

- **c (Kleur-factor):** Dit deel bevat de informatie over de kleurlading (de (SU(3) groepstheorie). Dit bepaalt hoe de kleuren mengen.
- **n (Kinematische teller):** Dit deel bevat de informatie over de beweging, de impuls (momentum) en de spin 1 eigenschappen van de gluonen.
- **p (Propagator:** De wiskundige beschrijving van hoe de deeltjes door de ruimte reizen (de noemer).

Bern, Carrasco en Johansson ontdekten in 2008 dat er een diepe symmetrie zit tussen de Kleur-factor (c) en de Kinematische teller (n). Ze ontdekten dat als je de puur abstracte Kleur-factor (c) uit de formule verwijdert, en deze **vervangt door een exacte kopie van de Kinematische teller (n)**, er iets wonderbaarlijks gebeurt.

De formule verandert dan in:

$$M_{\text{graviton}} = \frac{n \cdot n}{p} = \frac{n^2}{p}$$

Dit resultaat (M) is **exact de interactie-amplitude voor zwaartekracht (gravitonen)**.

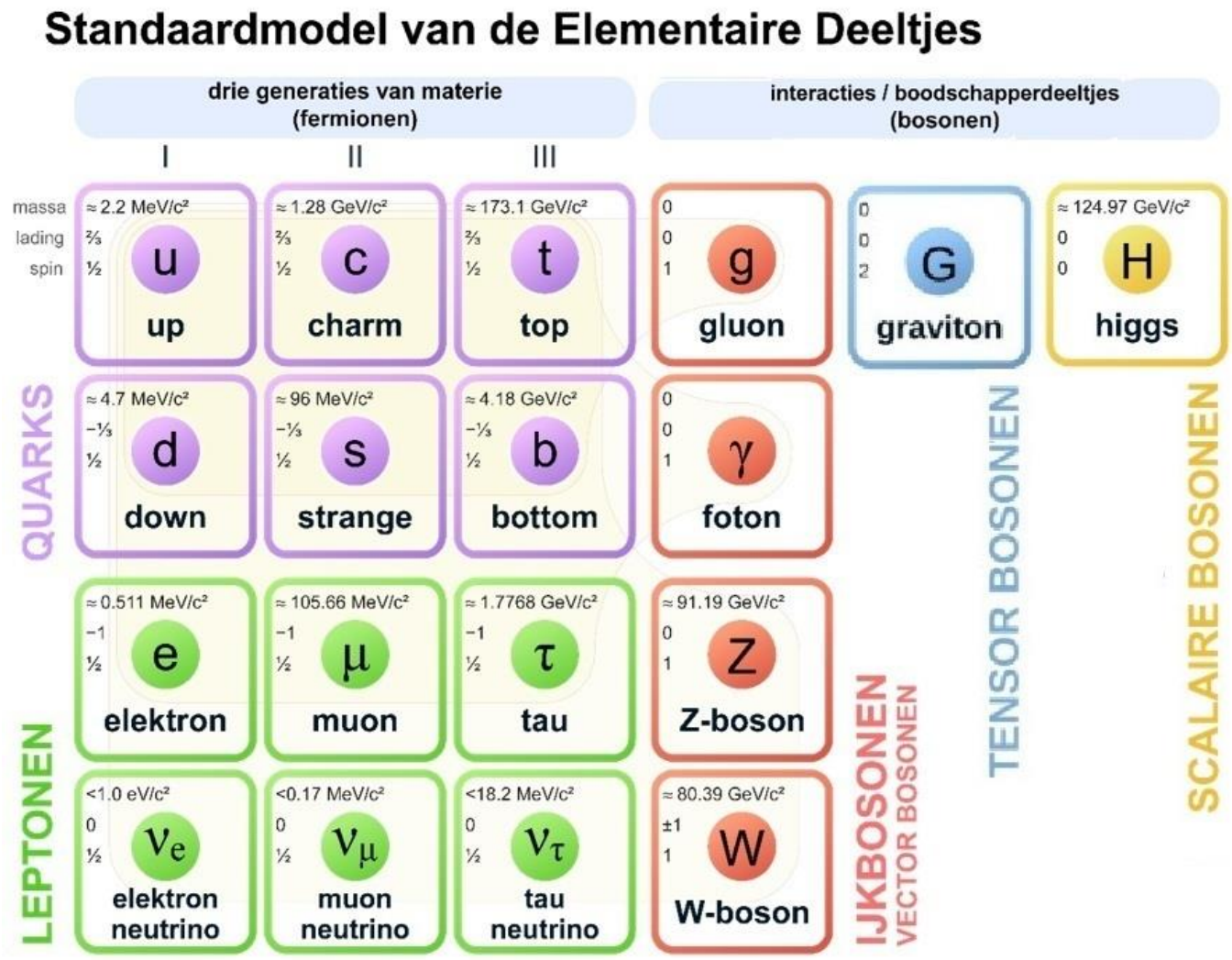
In de theoretische natuurkunde staat de letter **(M)** in deze context voor Matrixelement (of voluit: de *Feynman-amplitude* of *interactie-amplitude* van de zwaartekracht). Natuurkundigen gebruiken verschillende letters om de amplitudes van verschillende krachten uit elkaar te houden en verwarring te voorkomen:

- **(A)** wordt traditioneel gebruikt voor ijktheorieën (zoals de sterke kernkracht of het elektromagnetisme). De 'A' verwijst historisch naar de vectorpotentiaal (dikwijls aangeduid met de letter *A*).

- **(M)** wordt gebruikt voor de zwaartekracht (gravitatie). De 'M' herinnert aan het **Matrixelement**, de wiskundige term voor de kansamplitude dat een specifieke kwantuminteractie plaatsvindt.

BCJ-dualiteit werd voor het eerst opgemerkt in de snaartheorie (via de KLT-relaties), waar open snaren (die ijkdeeltjes zoals gluonen beschrijven) samen kunnen smelten tot gesloten snaren (die gravitonen beschrijven). KLT-relaties (voluit de Kawai-Lewellen-Tye relaties, geformuleerd in 1986) zijn wiskundige formules binnen de snaartheorie die aantonen dat de interacties van gesloten snaren exact berekend kunnen worden als het product van twee interacties van open snaren. De Double Copy bewijst dat deze diepe link ook buiten de snaartheorie, in de gewone kwantumveldentheorie, overeind blijft. Het suggereert dat zwaartekracht en de micro-krachten uit het Standaardmodel wellicht geen totaal verschillende talen spreken, maar twee verschillende dialecten zijn van exact dezelfde wiskundige structuur.

We kunnen gravitonen opnemen in het Standaardmodel van de Elementaire Deeltjes met zwaartekracht naast *vector bosonen* (zoals gluonen en fotonen) en de *scalaire bosonen* (higgsbosonen) als nieuwe kolom met gravitonen als *tensor bosonen* met een massa nul, een lading nul en spin 2, aan te duiden met de hoofdletter G (zie onderstaande afbeelding).

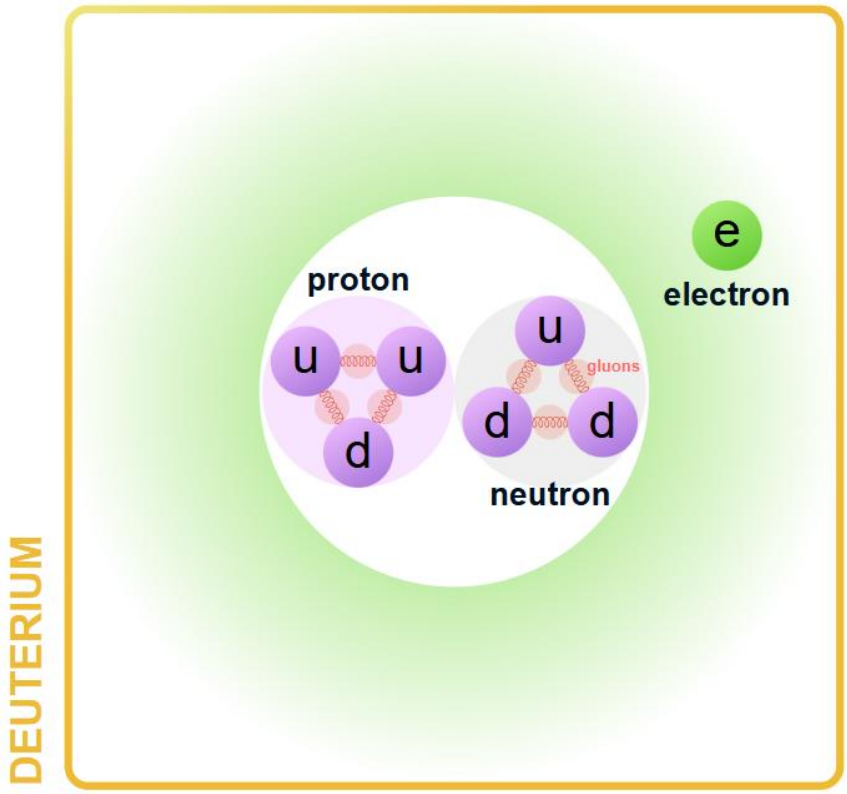


Dat we een graviton nog niet hebben gevonden, komt omdat dit deeltje extreem zwak is op de schaal van deeltjes, waardoor de interactie van een individueel graviton met materie vrijwel onmeetbaar klein is. Om een enkel graviton met een detector te vangen, hebben we een meetinstrument nodig hebben met de massa van een planeet (zoals Jupiter) dat vlakbij een extreem sterke zwaartekrachtbron (zoals een neutronenster) staat. Zelfs dan zou het honderden jaren kunnen duren om één enkel deeltje te detecteren. Wel hebben we in 2015 *zwaartekrachtgolven* gemeten (met de LIGO-detectoren). Dit is vergelijkbaar met het meten van een lichtgolf: we meten de vloeiende golf die bestaat uit talloze deeltjes tegelijk, maar we zijn nog niet in staat geweest om de afzonderlijke 'druppels' (de gravitonen) waaruit die golf bestaat te isoleren.

Omdat er in de kwantumtheorie geen strikt onderscheid tussen ‘deeltje’ of ‘veld’ is (het zijn verschillende aspecten van dezelfde fundamentele werkelijkheid) en we dus al wel zwaartekrachtsgolven in het zwaartekrachtsveld hebben waargenomen, zijn gravitonen niet meer hypothetisch maar wel degelijk echte ‘deeltjes’ en verdienen ze daarmee een plaats in bovenstaande Standaardmodel van de Elementaire Deeltjes.

Nog niet zo lang geleden ging de klassieke natuurkunde uit van protonen, neutronen en elektronen als kleinste deeltjes. Onderstaande afbeelding laat het atoom van Deuterium zien met behulp van het Standaardmodel. Protonen hebben een lading plus 1, neutronen hebben een lading nul en elektronen een lading van min 1.

Een waterstofatoom bestaat in de meest voorkomende vorm uit één proton met een positieve lading en één elektron met een negatieve lading; het heeft geen neutronen in de kern. In de vrije natuur op aarde komt een waterstofatoom bijna niet los voor. Het verbindt zich tot moleculen zoals H_2 (waterstofgas) of verbindingen met zuurstof tot water H_2O (twee waterstofatomen gekoppeld met een zuurstofatoom). Deuterium (^2H of D) wordt ook wel zware waterstof genoemd omdat dit een stabiel isotoop is van waterstof met één proton en één neutron in de kern (bijna tweemaal zo zwaar als gewone waterstof), zie onderstaande afbeelding.



Hoofdstuk 5 Het heelal

In het begin van het heelal (een honderdste van een miljardste seconde na de oerknal) was het heelal een onvoorstelbaar hete (boven de 10^{15} Kelvin), dichte soep van deeltjes waarin de natuurkrachten zich heel anders gedroegen dan nu. In deze fase waren alle fundamentele deeltjes nog volledig massaloos. In deze verzengende hitte had de veldsterkte van het Higgsveld een gemiddelde waarde van nul. Deze perfecte symmetrie kan alleen bestaan wanneer het heelal géén buitenkant heeft en dus de vorm van een *hypersfeer* heeft (een vierdimensionale ruimte).

Toen het heelal afkoelde, veranderde de energievorm. Het Higgsveld onderging een soort faseovergang, vergelijkbaar met water dat bevriest tot ijs. Vanaf dat moment was het Higgsveld overal in de kosmos permanent aanwezig met een waarde groter dan nul. Deeltjes die sindsdien door dit veld heen bewegen, ondervinden een soort 'stroperigheid' of weerstand door hun interactie met het veld. Deze traagheid die ze ervaren, nemen wij waar als massa. Dit proces noemen we spontane symmetriebreking. Omdat het veld vanaf dat moment overal in de ruimte een waarde groter dan nul had (de *vacuümverwachtings-waarde*), was de perfecte symmetrie voorgoed gebroken. Hierdoor veranderde het heelal onmiddellijk: het ‘bevroor’. Binnen het standaardmodel van de deeltjesfysica gaan wetenschappers ervan uit dat dit een gladde, geleidelijke overgang was. Op macroscopische schaal is de gemiddelde waarde van het Higgsveld in ons huidige heelal overal exact gelijk. De gemiddelde waarde van het Higgsveld in de lege ruimte (vacuümverwachtingswaarde) bedraagt exact 246 GeV.

In het aller vroegste heelal kan de waarde hiervan lokaal licht afwijken, waardoor de vorm van het heelal niet volkomen glad is. Voor onze dagelijkse natuurkunde (en de massa van elektronen en quarks) is dit verwaarloosbaar klein. Op de schaal van sterrenstelsels (en nog groter) kan dit wel degelijk invloed hebben op het gedrag van deze sterrenstelsels. Het (nog steeds) vierdimensionaal heelal kreeg dan ook de vorm van een hypersfeer voorzien van vele miljarden ‘putjes’ op de schaal van de huidige sterrenstelsels. Met deze ‘putjes’ is de ruimte dusdanig vervormd, dat daarmee het sneller draaien van de randen van sterrenstelsels kan worden verklaard. Het zoeken naar *donkere materie* kan daarmee worden gestopt.

Zelfs het bestaan van de Grote Aantrekker kan met dit effect worden verklaard. De Grote Aantrekker (een gebied met een diameter van honderden miljoenen lichtjaren) lijkt een enorme aantrekkingskracht uit te oefenen op tienduizenden sterrenstellels (waaronder de Melkweg). Omdat het lijkt op zwaartekracht zou de Grote Aantrekker een massa hebben tienduizenden malen groter dan de massa van de Melkweg.

Vóór de ontdekking van het Brout-Englert-Higgs-mechanisme (kortweg Higgsmechanisme) dachten natuurkundigen dat massa een vaste, intrinsieke eigenschap van een deeltje was (alsof een deeltje gewoon zwaar geboren was). Het Higgsmechanisme bewees het tegendeel: massa is een interactie. Een deeltje heeft alleen massa omdat het continu in contact staat met de achtergrond van ons heelal. In de natuurkunde is ‘massa’ een eigenschap (zoals lading of spin), niet de definitie van het deeltje zelf. Hoewel het Higgsmechanisme verklaart hoe *fundamentele* deeltjes (zoals quarks en elektronen) aan hun massa komen, is het niet verantwoordelijk voor de massa van de dagelijkse objecten om ons heen. De massa van protonen en neutronen ontstaat voor zo'n 99% door de enorme bindingsenergie van de sterke kernkracht die de quarks bij elkaar houdt. Dit proces noemen we *chirale symmetriebreking* binnen de kwantumchromodynamica (QCD), volgens Einsteins beroemde formule $E=mc^2$.

Bijzonder is dat higgsbosonen zelf ook massa hebben. Het higgsboson krijgt massa door de interactie met zichzelf. Het heeft massa omdat het Higgsveld aanwezig is in het vacuüm en een specifieke energetische vorm heeft waardoor het deeltje met zichzelf wissel werkt. Zonder deze specifieke vorm van de potentiaal zou het Higgsveld plat zijn, zou er geen zelfinteractie zijn, en zou ook het Higgsboson zelf massaloos zijn geweest.

Het Higgsveld staat in de moderne natuurkunde bekend om het geven van massa aan elementaire deeltjes via het Higgsmechanisme. Wanneer een veld zich in een energietoestand bevindt die hoger is dan het absolute minimum (een 'vals vacuüm'), genereert de energiedichtheid van dit veld een enorme negatieve druk. Volgens de algemene relativiteitstheorie van Einstein zorgt een voldoende sterke negatieve druk voor een *afstotende* zwaartekrachtwerking (verantwoordelijk voor het uitdijen van het heelal).

De Higgsveld equivalentietheorie breekt met de abstracte ruimtetijd-geometrie, dat uitgaat van een ***passieve geometrische achtergrond***. Hoewel de standaard Yukawa-koppeling naar normale materie doorgaans een aantrekkend karakter heeft, vertonen higgsbosonen een zelfinteractie (deeltjes die met elkaar interageren via het Higgsveld) met een afstotende werking om instorting te voorkomen. Met deze intrinsiek afstotende werking van het Higgsveld zien we dat het heelal géén passieve geometrische achtergrond is, maar een ***fundamenteel medium*** met een intrinsieke afstotende werking (donkere energie). Het zoeken naar *donkere energie* kan daarmee worden gestopt. Deze intrinsiek afstotende werking geld niet alleen voor het heelal op grote schaal, deze geld ook op kleine schaal. Ook op kleine schaal is het Higgsveld een ***fundamenteel medium*** met een intrinsieke afstotende werking (donkere energie).

Op de schaal van het heelal is het Higgsveld een vierdimensionaal gebogen veld (een hypersfeer) met een intrinsiek afstotende werking. Massa ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Deze massa is verantwoordelijk voor de vorming van gravitonen die net als magnetische veldlijnen zorgt voor een gebogen zwaartekrachtsveld rondom massa (zwaartekracht) met een intrinsiek aantrekkende werking. Het Higgsveld zelf behoud (óók op kleine schaal waarop zwaartekracht een aantrekkende werking heeft) een intrinsiek afstotende werking.

Dat het heelal onvoorstelbaar groot is blijkt uit het feit dat we afstanden in het heelal meten in lichtjaren en dat het oudste licht dat ons bereikt (de kosmische achtergrondstraling) bijna 13,4 miljard jaar oud is. Een lichtjaar is de afstand die het licht aflegt in één jaar tijd (met ongeveer 300.000 kilometer per seconde), oftewel ruim 9 biljoen kilometer (9.460.730.472.581 kilometer).

Zo staat de maan op 1 lichtseconde van ons af. De zon op 8,5 lichtminuten en de dichtstbijzijnde ster Proxima Centauri op ruim 4 lichtjaar. Het licht wat ons nu bereikt van Proxima Centauri is dus ruim 4 jaar geleden al vertrokken. De Melkweg (het sterrenstelsel waarin wij wonen) heeft een doorsnede van ongeveer 120.000 lichtjaar. Het centrum van onze Melkweg (Sagittarius A*) ligt op 26.000 lichtjaar afstand. Naast onze Melkweg ligt het sterrenstelsel genaamd Andromedanevel op 2,5 miljoen lichtjaar. Het licht wat ons nu bereikt van de Andromedanevel is dus net zo oud als de eerste stenen werktuigen van de mens.

Dat het heelal ook onvoorstelbaar groot is blijkt ook uit het feit dat onze Melkweg ongeveer 200 miljard sterren bevat en onze Melkweg één van de ongeveer 2.000 miljard sterrenstelsels in het heelal is. Er zijn letterlijk meer sterren in het heelal dan zandkorrels op aarde.



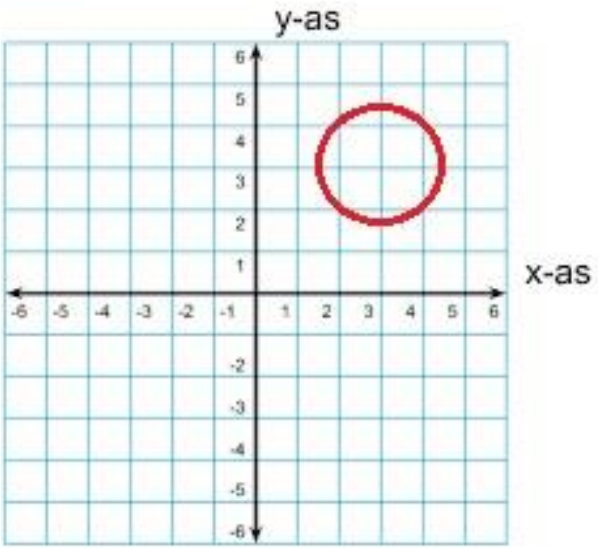
200 miljard zandkorrels op deze vrachtauto (net zo veel sterren als in onze Melkweg)

De huidige wetenschap gaat er van uit dat het heelal een vlakke geometrie heeft (een vierdimensionale ruimtetijd). De Higgsveld equivalentietheorie gaat er van uit dat het heelal gekromd is als een bol (ruimtelijk vierdimensionaal). Als je hierin in een rechte lijn blijft vliegen, kom je uiteindelijk terug op je startpunt.

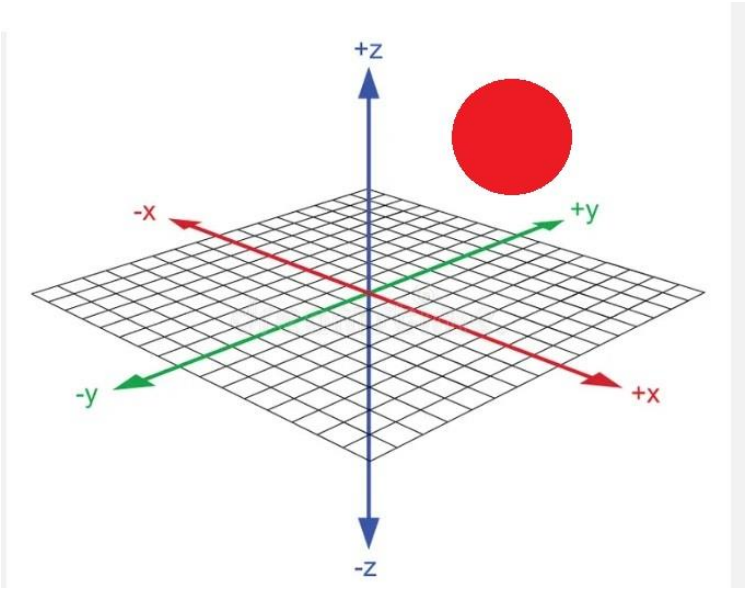
Kenmerk van een ruimtelijk vierdimensionaal heelal is dat élk punt in het heelal het middelpunt van het heelal is. Kenmerk van een ruimtelijk vierdimensionaal heelal is ook, dat sterrenstelsels niet van ons vandaan vliegen, maar dat alleen de tussenruimte tussen deze sterrenstelsels groter wordt. De huidige wetenschap gaat hier overigens ook van uit. Sterrenstelsels staan al vanaf de oerknal op dezelfde plek in het heelal.

Grote vraag is hoe we ons een ruimtelijk vierdimensionaal heelal moeten voorstellen. Daarvoor moeten we gebruik maken van een beetje meetkunde en heel veel voorstellingsvermogen.

Om te laten zien dat het heelal écht ruimtelijk vierdimensionaal is, eerst een stukje meetkunde in een tweedimensionale en een driedimensionale wereld.



Een **cirkel** in een tweedimensionale wereld.

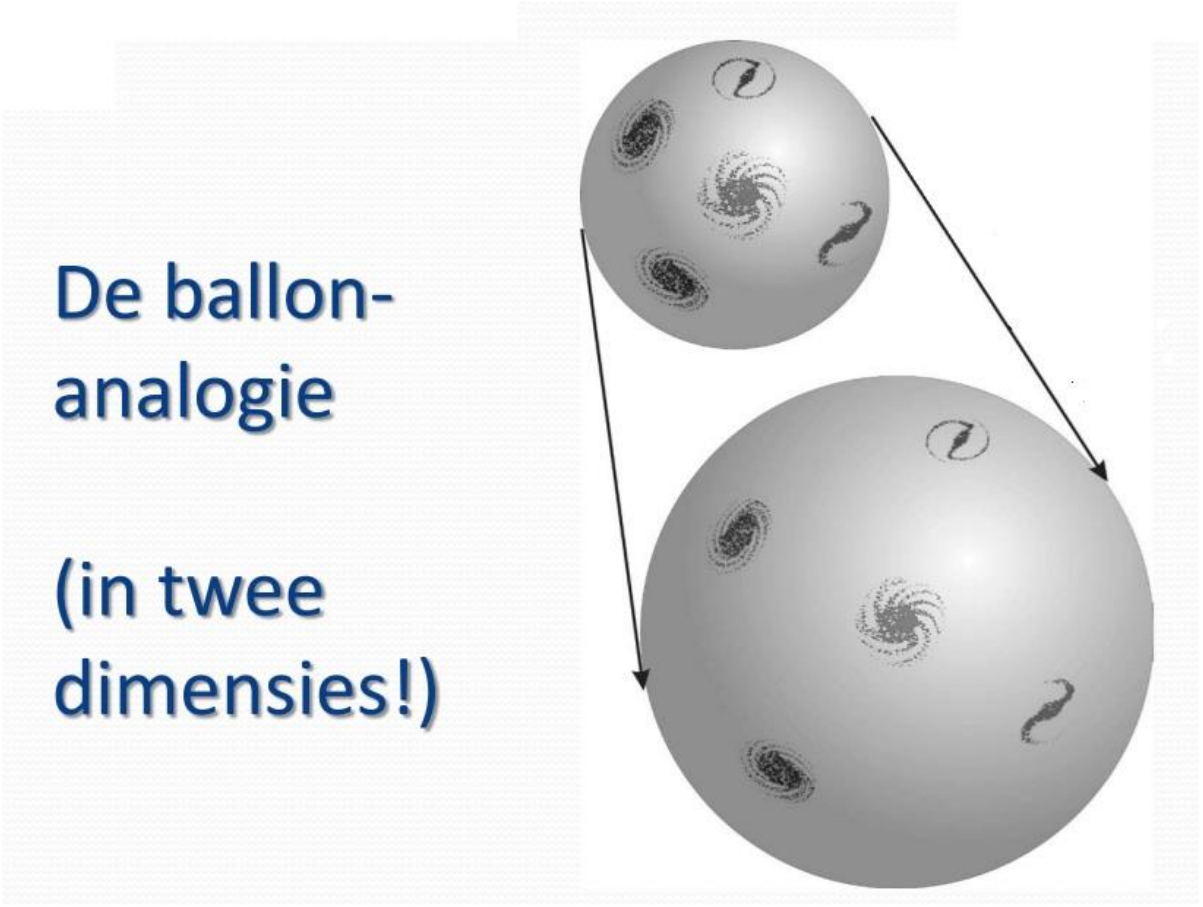


Een **ballon** (dus hol van binnen) in een driedimensionale wereld.
Vervolgens zetten we ons voorstellingsvermogen aan het werk. We tekenen ons heelal tweedimensionaal op het oppervlak van de driedimensionaal gesloten ballon en blazen deze ballon op. In welk sterrenstelsel je ook woont, overal verwijderen andere sterrenstelsels zich ten opzichte van jouw sterrenstelsel en denk je dat je in het midden van het heelal woont. Dit is het breed gedragen **kosmologisch principe**. Het begrip kosmologisch principe werd in 1935 door Arthur Milne [7)] geïntroduceerd. Het kosmologisch principe is bewezen met de in 1965 gevonden kosmische achtergrondstraling [8)]. Kenmerk van het kosmologisch principe is dat élk punt in het heelal het middelpunt is van het heelal. In dit geval is élk punt in het tweedimensionaal getekend heelal het middelpunt van het heelal. Dat de bewoners van dit tweedimensionaal heelal dit heelal ook tweedimensionaal waarnemen, komt omdat het licht alleen de oppervlak van de ballon volgt.

---

[7] **Milne, E.A.** *(1935). Relativity, gravitation and world-structure*, Oxford: Claredon Press.

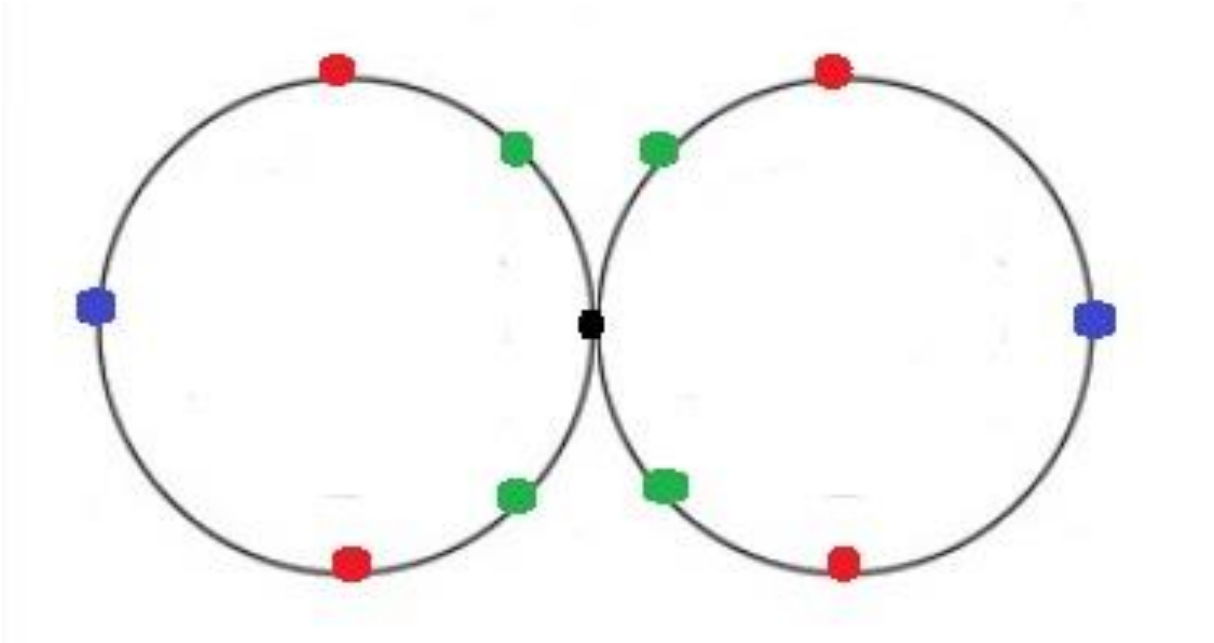
[8] **Penzias, A.A.; Wilson, R.W.** *(1965). "A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s". Astrophysical Journal.*



Om het **kosmologisch principe** ook in het echte heelal te behouden (niet tweedimensionaal, maar driedimensionaal zoals wij het heelal waarnemen), moet deze niet tweedimensionaal getekend worden op de oppervlak van een driedimensionaal ballon, maar moet het heelal driedimensionaal getekend worden op de oppervlak van een **hypersfeer** (een vierdimensionale variant van een driedimensionaal ballon).

Het heelal is dan ook écht ruimtelijk vierdimensionaal. Dat de bewoners van dit heelal het driedimensionaal waarnemen, komt omdat het licht alleen de vorm van deze hypersfeer volgt (net zo als bewoners van een tweedimensionaal heelal dit heelal ook tweedimensionaal waarnemen, omdat het licht alleen de oppervlak van de ballon volgt).
Wanneer we daadwerkelijk berekeningen willen uitvoeren aan dit ruimtelijk vierdimensionaal heelal moeten we een model bouwen waar een supercomputer mee aan de slag kan.

Hiervoor nemen we twee cirkels die samen een ‘acht’ vormen. Waar de twee cirkels elkaar raken is ons melkwegstelsel gesitueerd op de zwarte stip. Dit is het punt waar ons melkwegstelsel zich bevond op het moment van de oerknal, maar ook op het moment waar het zich nu nog steeds bevindt (13,8 miljard jaar later). Leuk om te weten is dat de lage quadrupool laat zien dat het heelal bijna exact de grootte heeft van ons waarneembaar heelal. De lage quadrupool is het gebrek aan temperatuurschommelingen in de kosmische achtergrondstraling bij een schaal van meer dan 60°.



Het gehele heelal wordt vormgegeven door de acht in alle mogelijke richtingen te draaien. dus niet alleen 360^0 links en rechts, maar ook 360° naar boven en beneden, enz.). Hiermee bouwen we een ‘figuur’ op met alle aanwezige sterrenstelsels. Denkbeeldig ontstaat dan een bol, gevuld met alle sterrenstelsels in het heelal, waarbij ons melkwegstelsel (zwarte stip) in het midden staat en alle blauwe stippen de meest ver weg gelegen sterrenstelsels vertegenwoordigen. Deze sterrenstelsels vertegenwoordigen, net als alle andere sterrenstelsels, de sterrenstelsels vanaf het vroegste heelal. Het licht van de vroegste blauwe sterrenstelsel reist langs de lijn van de ‘acht’ richting ons melkwegstelsel en deed daar ruim 13 miljard jaar over.

Nu maken we dit heelal ruimtelijk vierdimensionaal, waarbij *elk* melkwegstelsel in het midden van het heelal staat. Dit vergt dat elk melkwegstelsel gelijktijdig op de zwarte stip van zijn eigen ‘acht’ staat. Elke sterrenstelsel lijkt ten opzichte van andere sterrenstelsels zich dus te verplaatsen naar de zwarte stip via de lijnen van de cirkels. De cirkels behouden daarbij hun omvang (ze worden niet groter of kleiner), waardoor vanuit elk punt in het heelal het heelal 13,8 miljard lichtjaar groot lijkt. Het uitdijen of inkrimpen van dit heelal vindt plaats door het ‘vergroten’ of ‘verkleinen’ van de ‘acht’.

Er zijn op dit moment een tweetal theorieën gangbaar over de oorsprong en het ontstaan van ons heelal. De oerknal en het kosmisch inflatiemodel.

In 1931 bedacht de Belgische priester-kosmoloog Georges Lemaître [9)] dat het heelal ooit begon vanuit een extreem heet, compact punt, dat hij het ‘oeratoom’ noemde. Een singulariteit zoals beschreven in de algemene relativiteitstheorie van Einstein. Deze kosmologische theorie van Lemaître maakt het aannemelijk dat 13,8 miljard jaar geleden het heelal ontstond uit een enorm heet punt (ca. 10^{28} K). De term 'big bang' (oerknal) werd pas in 1950 gebruikt door Fred Hoyle als een denigrerende aanduiding om zijn afkeer van deze theorie van Lemaître tot uitdrukking te brengen.

[9] **Lemaitre, G.** (1931) “*The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory*, “Nature” 127, n. 3210, pp. 706

In 1981 introduceerde Alan Guth het Kosmische inflatiemodel inflatie [10)]. Dit model stelt dat het heelal in de eerste fractie van een seconde na de oerknal een extreem snelle, exponentiële uitdijing onderging. In dit model, waarbij inflatie plaatsvond tussen ongeveer 10^{-36} en 10^{-32} seconden na de oerknal, dijde het heelal in die fractie van een seconde meer uit dan in de miljarden jaren daarna, waardoor een microscopisch klein gebied uitgroeide tot astronomische proporties. Na de oerknal onderging het heelal een exponentiële uitbreiding (kosmische inflatie). Bij het afkoelen vormden zich eerst kleine structuren zoals protonen en neutronen, later grotere structuren als sterren en sterrenstelsels. Dit proces werd volgens Guth aangedreven door een nog niet bewezen energieveld, het inflatonveld (of "valse vacuüm"), dat een afstotende zwaartekracht uit zou oefenen.

In de Higgsveld equivalentietheorie heeft het Higgsveld een intrinsieke afstotende werking én vond de oerknal niet vanuit één middelpunt plaats, maar vond de oerknal letterlijk vanuit *elk* punt in het heelal plaats. Of daarmee een gedragen alternatief voor het Kosmische inflatiemodel ontstaat is zaak van nadere beschouwing.

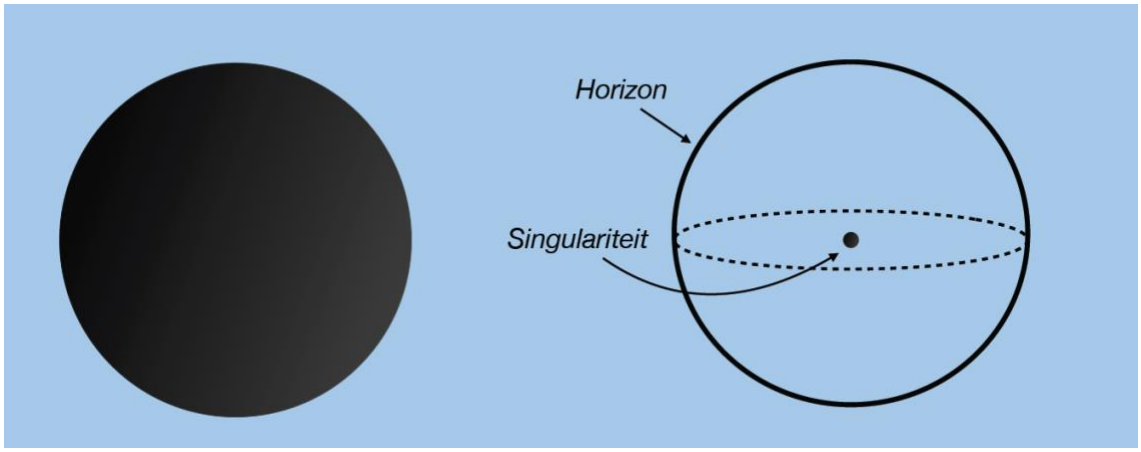
[10] **Guth, A**. (1981) *"Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems"*, Physical review, volume 23, nummer 2, 15 januari 1981

Hoofdstuk 6 Zwarte gaten

Als theorieën verkeerd blijken te zijn, is meestal ons interpreterende verhaal het element dat verkeerd blijkt te zijn – niet de structuur. Neem zwaartekracht. Volgens Newton is de zwaartekracht een kracht die massa's vanuit de verte op elkaar uitoefenen. Volgens Einstein is het de lokale kromming van de ruimtetijd. Als de zwaartekracht zwak is en de snelheden laag zijn, wijken Einsteins formules voor die van Newton. Newtons zwaartekracht is de energievriendelijke begrenzing van de algemene relativiteitstheorie. Newton had wel de juiste structuur, maar het verkeerde verhaal. Dit verhaal bleek maar een piepklein stukje te zijn van iets veel groters. Newtons zwaartekracht werkte: die had succes omdat hij zich richtte op een klein stukje structuur van de werkelijkheid. Einstein ontdekte een groter stuk, en we zijn er nog niet.

Het verhaal van Einstein blijkt niet te werken in gevallen van bijna onmetelijke energie, zoals bij zwarte gaten. Ook Einstein had de juiste structuur, maar nog niet het juiste verhaal. Met de ontdekking van het higgsboson in 2012 kan wél het juiste verhaal worden verteld in de vorm van een gekromd energieveld (gravitatieveld). De juiste structuur met het juiste verhaal is dat zwaartekracht geen kromming van de ruimtetijd is, maar een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Massa creëert dit gekromd energieveld (gravitatieveld). Zwaartekracht is een energetisch (gravitationeel) potentiaalverschil met een toenemende veldsterkte van het zwaartekrachtveld richting massa. Het juiste verhaal is ook dat fotonen niet gehinderd worden door het Higgsveld, fundamenteel onderdeel zijn van het heelal en derhalve een natuurconstante kunnen zijn zonder afhankelijk te zijn van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam.

Eén van de meest bizarre verschijnselen in het heelal is een **zwart gat**. Een plek in de ruimte waar de zwaartekracht zo extreem sterk is dat zelfs het licht er niet uit kan ontsnappen. Het zwart gat is dan ook letterlijk niet meer te zien, vandaar de naam zwart gat. Wetenschappers nemen deze zwarte gaten waar, door te kijken naar de sterren en gassen die eromheen draaien.

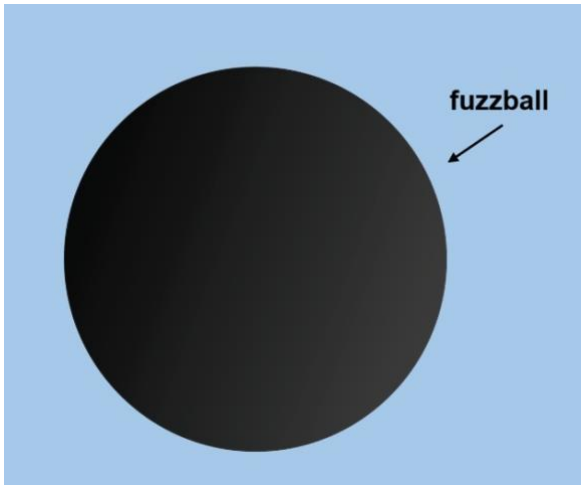


Een zwart gat heeft volgens de huidige theorieën een singulariteit, een punt middenin met een oneindige dichtheid aan massa en nul volume, en een horizon die de grens aangeeft van waaruit het licht niet meer kunt ontsnappen (de waarnemingshorizon). Van buitenaf is dit zwart gat dan ook niet zichtbaar.

De waarnemingshorizon van een zwart gat is de grens, waar de snelheid van het licht niet groot genoeg is, om aan de zwaartekracht van het zwart gat te kunnen ontsnappen (de buitenkant van het zwart gat). Omdat op de grens van de waarnemingshorizon de ontsnappingssnelheid gelijk is aan de snelheid van het licht staat volgens de speciale relativiteitstheorie de tijd daar stil en gelden de natuurwetten in het binnenste van een zwart gat niet meer.

Volgens de algemene relativiteitstheorie is de massa van een zwart gat samengeperst in een singulariteit in het centrum van het zwart gat. Een punt van oneindige dichtheid aan massa en nul volume. Overigens was het John Wheeler die het begrip ‘zwart gat’ populair maakte.

In 2001 introduceerde **Samir Dayal Mathur** (een theoretisch natuurkundige die gespecialiseerd is in snaartheorie en zwarte gatenfysica) een theorie die uitgaat van kwantum-fuzzballs (pluizige bal, in het Engels fuzzballs). Dit zijn hypothetische objecten binnen de snaartheorie die een fundamenteel alternatief bieden voor de traditionele beschrijving van zwarte gaten. Hierin wordt de klassieke, oneindig kleine singulariteit en de lege waarnemingshorizon (event horizon) vervangen door een bal van trillende energiedraden (snaren).



Een fuzzball is een gigantische kluwen van trillende snaren (snaartheorie), waaruit het licht niet meer kan ontsnappen. Van buitenaf is dit zwart gat in de vorm van een fuzzball dan ook niet zichtbaar.

Hoewel een fuzzball volgens de theorie geen harde 'waarnemingshorizon' (event horizon) heeft zoals een klassiek zwart gat, is de zwaartekracht aan het oppervlak zo gigantisch groot dat fotonen er onmogelijk uit kunnen ontsnappen (nog beter, in een fuzzball kunnen zich helemaal geen fotonen vormen, laat staan ontsnappen). De term ‘zwart gat’ past dan ook op een fuzzball.

Tot nu toe werden fuzzballs alleen als hypothetische objecten beschouwd omdat de fuzzballtheorie er vanuit gaat dat er helemaal geen lege ruimte binnen een zwart gat is, wat in strijd is met de speciale relativiteitstheorie, die stelt dat achter de waarnemingshorizon tijd en ruimte niet meer bestaan.

Sinds 2012 weten we dat het heelal gevuld is met het Higgsveld (higgsbosonen). Het Higgsveld verklaart het bestaan van traagheid van massa (een eigenschap van materie om zich te verzetten tegen elke verandering in haar bewegingstoestand) door de toevoeging van dit energieveld aan het Standaardmodel van de Elementaire deeltjes. Simplistisch gezegd zijn higgsbosonen klontjes in het heelal waar andere deeltjes doorheen bewegen. Doordat higgsbosonen aan een ander deeltje 'blijven plakken', krijgen deze deeltjes hun massa (oftewel het Higgsmechanisme, waarbij higgsbosonen massa geven aan elementaire deeltjes). Hoe meer higgsbosonen aan dit deeltje blijven plakken, hoe meer massa dit deeltje heeft.

Het foton bezit géén koppelconstante met het Higgsveld, waardoor het zich ongehinderd door het Higgsveld verplaatst. Dit verklaart de constante lichtsnelheid zonder het toepassen van relativistische tijd-ruimte-transformaties (lengtecontractie en relatieve tijd). Het geeft een nieuwe verklaring voor de uitkomst van het Michelson en Morley experiment uit 1887. De speciale relativiteitstheorie behoort met het vinden van het Higgsveld dan ook definitief tot het verleden, hoewel de postulaten van deze theorie wel degelijk juist zijn. Het tweede postulaat zegt dat het licht zich in de lege ruimte steeds met een bepaalde snelheid voortplant, onafhankelijk van de bewegingstoestand van het uitzendende lichaam. De verklaring hiervoor is dus dat het foton géén koppelconstante bezit met het Higgsveld.

Gevolg van het niet meer toepassen van relativistische tijd-ruimte-transformaties (lengtecontractie en relatieve tijd) is dat de zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd kán zijn, maar dat zwaartekracht een gekromd energieveld is, dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Een nog belangrijker gevolg is dat binnen in een zwart gat tijd en ruimte nog steeds bestaan.

De Higgsveld equivalentietheorie geeft aan dat fuzzballs niet langer hypothetisch hoeven te zijn, maar dat ze wel degelijk echte fysieke objecten kunnen zijn. Elektromagnetische emissie is onmogelijk vanaf deze fuzzball (we blijven de buitenkant van deze fuzzball voor het gemak waarnemingshorizon noemen).

De eerste echte foto van een zwart gat is die van het zwart gat in het centrum van Messier 87 op 55 miljoen lichtjaar afstand. Deze foto, gemaakt door de Event Horizon Telescope (EHT) en gepubliceerd op 10 april 2019 laat zien dat dit zwart gat (M87) een waarnemingshorizon heeft met een diameter van 18 miljard kilometer, oftewel vier keer de diameter van ons zonnestelsel.

Belangrijk om te weten is hoe snaren zich gedragen, wanneer ze massaal worden samengeperst. De fuzzballtheorie voorspelt namelijk exact de enorme omvang van M87 door een uniek mechanisme binnen de snarentheorie, genaamd fractionering. In onze alledaagse ervaring zou je verwachten dat een kluwen touw kleiner en compacter wordt naarmate je er harder op drukt. Bij kwantumsnaren werkt dit onder extreme zwaartekracht precies andersom.

Wanneer een onvoorstelbare hoeveelheid materie (zoals de 6,5 miljard zonnemassa's van M87) ineenstort, verbinden miljarden individuele snaren zich tot één gigantische, doorlopende snaar. Door wiskundige interacties (fractionation) zorgt deze samensmelting ervoor dat de spanning op de snaren drastisch afneemt. Ze worden extreem flexibel en 'slap'. Omdat de spanning daalt, begint de gigantische snaar zich enorm uit te rekken. In plaats van dat de kluwen krimpt tot een speldenknop, zwelt de fuzzball juist op tot een gigantisch volume.

Toen Mathur en zijn team de formule afleidden voor hoe ver zo'n reusachtige kluwen snaren opzwelt, ontdekten ze iets opmerkelijks: de straal van de fuzzball groeit exact lineair mee met de massa. De berekende fysieke buitengrens van de fuzzball is op de millimeter gelijk aan de Schwarzschildstraal (de traditionele waarnemingshorizon uit Einsteins relativiteitstheorie). Volgens de fuzzballtheorie kijken we recht tegen het werkelijke, fysieke oppervlak van een reusachtige, kosmische kluwen kwantumsnaren aan. Het object is zo groot als de waarnemingshorizon.

Volgens de klassieke algemene relativiteitstheorie heeft een zwart gat een *event horizon* (waarneemhorizon) met daarachter een singulariteit (een ‘onbereikbare’ zone). Alles wat erin valt is voorgoed weg. Natuurkundigen dachten dat zwarte gaten perfecte, ijskoude objecten waren die alles opslokten en zelf geen temperatuur of wanorde (entropie) bezaten. Dit overtrad de wetten van de thermodynamica. Hawking bedacht in 1974 dat door kwantumeffecten aan de rand van het zwarte gat (de waarnemingshorizon), er deeltjes ontsnappen. Hierdoor hebben zwarte gaten wél een temperatuur en entropie, waarmee de thermodynamica werd gered. De theorie over Hawkingstraling gaat er vanuit dat zwarte gaten langzaam verdampen via Hawkingstraling. Deze straling is echter volledig willekeurig (thermisch) en lijkt geen enkele informatie te bevatten over wat er in het zwarte gat is gevallen. Als het zwarte gat volledig is verdampt, zou alle informatie over de materie die erin verdween voorgoed verloren zijn gegaan. Dat is in strijd met een fundamentele wet van de kwantummechanica dat stelt dat kwantuminformatie (de fysische eigenschappen en de kwantumtoestand van alle materie) nooit verloren kan gaan. Als informatie wel vernietigd wordt, klopt onze fundamentele natuurkunde niet. Dit conflict wordt de informatie paradox genoemd.

Na zijn fuzzballtheorie uit 2001 publiceerde Mathur in 2009 een nieuwe kijk op de informatie paradox. Wanneer materie of energie in een fuzzball valt, valt deze niet naar een singulariteit (een ‘onbereikbare’ zone). Omdat er geen event horizon is, valt informatie niet in een 'onbereikbare' zone. Informatie die interactie aangaat met de fuzzball, wordt opgeslagen in de specifieke trillingen en configuraties van de snaren. Wanneer de fuzzball deeltjes uitstraalt (Hawkingstraling) en verdampt, reizen de trillingen (en dus de informatie) mee met de straling. De paradox is hiermee opgelost, omdat informatie simpelweg bewaard blijft en het zwarte gat weer kan verlaten. Wanneer de fuzzball na biljoenen jaren volledig verdampt, is er geen informatie vernietigd; alle informatie is simpelweg via de straling teruggevloeid in het universum**.**

De Higgsveld equivalentietheorie verklaart de constante snelheid van het licht zonder het toepassen van relativistische tijd-ruimte-transformaties. Vanuit de theoretische natuurkunde kan overgestapt worden van een abstracte wiskundige geometrie naar een kwantummechanische basis. Hiermee wordt niet alleen een flinke stap gezet in de richting van de fuzzballtheorie, maar ook een definitieve oplossing voor de in 2012 beschreven ‘*firewall paradox*’. Deze paradox beschrijft een fundamentele botsing tussen de algemene relativiteitstheorie (waarbij een reiziger niets merkt bij het passeren van de waarnemingshorizon van een zwart gat) en de kwantummechanica (waarbij een hete ‘muur van vuur’ de waarnemer bij het passeren van de waarnemingshorizon direct zou verbranden). De Higgsveld equivalentietheorie lost de firewall paradox op in het nadeel van de waarnemer die het niet overleeft.

Astronomen proberen het verschil tussen een klassiek zwart gat en een fuzzball te bewijzen door te luisteren naar het "uitluiden" van een zwart gat na een kosmische botsing. Dit doen ze met behulp van zwaartekrachtgolven (rimpelingen in ruimte en tijd), waarbij ze specifiek zoeken naar een fenomeen dat zwaartekracht-echo's wordt genoemd.

Wanneer twee zwarte gaten botsen, trilt het nieuw gevormde zwarte gat nog even na voordat het stilvalt. Dit natrillen heet de *ringdown*-fase en produceert een specifiek patroon van zwaartekrachtgolven. Dit is waar het verschil tussen Einsteins singulariteit en de fuzzballtheorie hoorbaar wordt.

Volgens de relativiteitstheorie heeft een klassiek zwart gat een immateriële waarnemingshorizon. Zwaartekrachtgolven die bij de botsing naar binnen worden gestraald, passeren deze horizon en vallen voor eeuwig richting de singulariteit. Ze kunnen nooit meer ontsnappen. De zwaartekrachtgolven van de botsing stoppen heel abrupt. Er is een felle "klap" (de ringdown) en daarna blijft het direct muisstil.

De fuzzballtheorie stelt dat het zwart gat (fuzzball) een massief oppervlak heeft dat gemaakt is van een gigantische kluwen van trillende snaren. Er is geen lege ruimte binnenin en geen horizon. Het oppervlak gedraagt zich als een soort semi-transparante spiegel voor zwaartekrachtgolven. Wanneer de golven van de botsing tegen de fuzzball slaan, kaatst een deel direct terug de ruimte in. Een ander deel dringt diep door in de snarenkluwen, stuitert daarbinnen heen en weer, en ontsnapt pas later. In plaats van abrupte stilte, voorspelt de fuzzballtheorie dat we een reeks steeds zwakker wordende echo's moeten meten na de initiële klap. Het signaal sterft veel trager uit.

Op 14 september 2015 werd de allereerste directe waarneming van zwaartekrachtgolven, afkomstig van twee botsende zwarte gaten gemeten door het Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO).

Kort na de allereerste detectie van zwaartekrachtgolven claimde een groep onafhankelijke natuurkundigen (onder leiding van Jahed Abedi) in 2016 dat ze zwakke echo's hadden gevonden in de publieke data van LIGO. Ze vonden patronen die zo'n 0,1 tot 0,3 seconden na de grote botsing optraden. Dit nieuws zorgde voor een schokgolf, omdat dit precies zou kunnen wijzen op een kwantum-oppervlak zoals een fuzzball.

De wetenschappers van het LIGO hebben deze claims direct grondig onderzocht, maar kwamen tot de conclusie dat de statistische betrouwbaarheid van de vermeende echo's erg laag was (ongeveer 2,9 sigma). In de natuurkunde betekent dit dat er een kans van 1 op 270 is dat de 'echo' gewoon toevallige achtergrondruis van de instrumenten was. Om iets écht als ontdekking te bestempelen, eist de wetenschap een betrouwbaarheid van 5 sigma (een kans van 1 op 3,5 miljoen).

Om de echo's van superzware fuzzballs zoals M87 te horen, moeten astronomen de ruimte in. Er wordt hard gewerkt aan toekomstige ruimtedetectoren zoals de Laser Interforometer Space Antenna (LISA), een laserdetector in een baan om de zon LISA zal specifiek luisteren naar de lage frequenties van superzware zwarte gaten zoals M87. LISA zal naar verwachting tussen 2035 en 2037 worden gelanceerd. Als LISA de herhaalde kwantum-echo's opvangt, is dat het definitieve bewijs dat M87 geen leeg gat is, maar een reusachtige fuzzball (een betrouwbaarheid van 5 sigma).

Hoewel de statistische betrouwbaarheid door de wetenschap nog als ‘laag’ wordt aangemerkt, kan met 99,6% zekerheid (1 op de 270 keer dan het niet zo is) gesteld worden dat LIGO heeft bewezen dat zwarte gaten fuzzballs zijn.

Zwarte gaten zijn dus per definitie onzichtbaar. Maar de invloed die ze op hun omgeving uitoefenen, is wél waarneembaar. Wanneer er gas naar binnen wordt gezogen, wordt dat door het sterke zwaartekrachtsveld enorm versneld en verhit. Nog voordat het gas in het zwarte gat verdwijnt, zendt het daardoor energierijke röntgenstraling uit. Die kan geregistreerd worden door telescopen als de Event Horizon Telescope. Ook uit de beweging van naburige sterren en gaswolken is het bestaan van een zwart gat soms af te leiden.

Laat de natuur haar gang gaan, dan ontstaan zwarte gaten vanzelf. Er zijn twee soorten zwarte gaten. Stellaire zwarte gaten zijn een paar keer zo zwaar als de zon, maar niet groter dan een paar kilometer. Ze ontstaan wanneer een zware ster aan het eind van zijn leven explodeert als supernova. De kern van de ster stort dan ineen tot een zwart gat. Superzware zwarte gaten zijn veel groter, en zijn een paar miljoen of zelfs een paar miljard keer zo zwaar als de zon. Ze houden zich schuil in het centrum van de meeste sterrenstelsels. De wetenschap gaat er vanuit dat ze een onvermijdelijk bijproduct van het ontstaan van sterrenstelsels zijn.

Er zijn vele triljoenen zwarte gaten (een triljoen is een 1 met achttien nullen). Vrijwel elk groot sterrenstelsel – inclusief ons eigen Melkwegstelsel – heeft een superzwaar zwart gat in zijn kern. Dat betekent dat er mogelijk zo'n 2.000 miljard superzware zwarte gaten in het heelal zijn. Stellaire zwarte gaten zijn nog véél talrijker, gezien het aantal supernova-explosies. In ons Melkwegstelsel komen er naar schatting al honderd miljoen voor, aldus berekeningen van de Amsterdamse hoogleraar Ed van den Heuvel. Het dichtstbijzijnde stellaire zwarte gat is misschien maar vijftien lichtjaar van ons zonnestelsel vandaan.

Hoofdstuk 7 Formule zwaartekracht

Algemene relativiteitstheorie

In plaats van een aantrekkende kracht (zoals bij Newton) beschrijft Einstein de formule voor zwaartekracht in de algemene relativiteitstheorie als de **kromming van de ruimtetijd** veroorzaakt door massa en energie (de Einstein-veldenvergelijking).

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Linkerkant $(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu})$: Dit deel beschrijft de meetkunde en de **kromming** van de ruimtetijd.

Kruisterm $(\Lambda g_{\mu\nu})$: Dit is de **kosmologische constante**, die te maken heeft met donkere energie en de versnelde uitdijing van het heelal.

Rechterkant $(\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu})$: Dit deel beschrijft de hoeveelheid **massa, energie** en **momentum** die aanwezig is

De indices *μ* en *v*

De indices ***μ*** (mu) en ***v* (nu)** zijn variabelen die elk een waarde van 0 tot en met 3 kunnen aannemen. Elke waarde staat voor een specifieke dimensie in de vierdimensionale ruimtetijd:
0 staat voor de **tijddimensie** (t)
1 staat voor de **eerste ruimtelijke dimensie** (x)
2 staat voor de **tweede ruimtelijke dimensie** (y)
3 staat voor de **derde ruimtelijke dimensie** (z)
Je ziet ***μ*** (mu) en ***v* (nu)** bijna altijd samen omdat ze worden gebruikt in **tensoren**. Tensoren zijn wiskundige objecten die relaties tussen verschillende dimensies beschrijven:

De Metriektensor $g_{\mu\nu}$ is een 4 x 4 matrix die de afstand en de vorm van de ruimtetijd beschrijft.

Energie-impulstensor $T_{\mu\nu}$ (of stress-energietensor) is een 4 x 4 matrix die de verdeling, de stroom en de druk van alle aanwezige materie, energie en straling in de ruimtetijd bevat.

Omdat er twee indices zijn die elk 4 waarden kunnen hebben, vormen ze samen een matrix van 16 combinaties (4 keer 4). Zo staat de combinatie ***μ*0** en ***v*0** voor de pure tijdscomponent, terwijl de combinatie ***μ*1** en ***v*2** voor de relatie tussen de x- en y-as beschrijft. Een combinatie als ***μ*0** met ***v*1** is hierin de ruimtetijd-component, evenals ***μ*0** samen met ***v*1** en ***v*2** en ***v*3** (een vierdimensionale ruimtetijd).

Linkerkant vergelijking

De linkerkant $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}$ vergelijking beschrijft de **meetkundige kromming van de ruimtetijd.**

De Ricci-krommingstensor

De Ricci-krommingstensor is $R_{\mu\nu}$ een wiskundig object dat meet hoeveel de ruimtetijd afwijkt van een gewone, platte ruimte. Het geeft specifiek aan hoe het **volume** van een object verandert als het door de gekromde ruimtetijd beweegt (bijvoorbeeld hoe een wolk van deeltjes vervormt door zwaartekracht).

De krommingsscalar of Ricci-scalar R

De Ricci-scalar is een enkel getal (een gemiddelde) dat de totale, gemiddelde kromming van de ruimte in een specifiek punt samenvat. Het schaalt de kromming, zodat de vergelijking voldoet aan de wet van behoud van energie.

De Metriektensor $g_{\mu\nu}$

De Metriektensor $g_{\mu\nu}$ is dus met een 4 x 4 matrix het belangrijkste basiselement van de relativiteitstheorie. Dit object bepaalt hoe je **afstanden en tijd** meet in een gekromde ruimte. Het fungeert als het "landschap" van de ruimtetijd. Als je weet wat dat is, weet je precies hoe de zwaartekracht zich in dat gebied gedraagt.

De kosmologische constante Λ

De kosmologische constante is een constante die Einstein toevoegde om de energiedichtheid van de lege ruimte (het vacuüm) te beschrijven. Vandaag de dag linken we dit symbool aan **donkere energie**, de kracht die ervoor zorgt dat het heelal steeds sneller uitdijt.

Rechterkant vergelijking $\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$

De rechterkant van deze vergelijking beschrijft hoe materie en energie aanwezig zijn in het heelal, wat de oorzaak is van de kromming van de ruimtetijd (de zwaartekracht).

Pre-factor 8π

Dit is een wiskundige constante die voortkomt uit de integratie over een driedimensionale bolomgeving en zorgt voor de aansluiting op de klassieke zwaartekrachtswet van Newton.

Gravitatieconstante *G*

G is de gravitatieconstante van Newton. Het is een natuurconstante die aangeeft hoe de zwaartekracht tussen twee voorwerpen, hun massa's en hun afstand zich verhouden tot elkaar. Het is de natuurconstante die de fundamentele sterkte van de zwaartekracht tussen massa’s bepaalt.

Lichtsnelheid *c*

c is de lichtsnelheid in vacuüm. De factor ***c*⁴** in de noemer is extreem groot, wat aangeeft dat ruimtetijd zeer stijf is; er is een gigantische hoeveelheid energie of massa nodig om de ruimte merkbaar te krommen.

Energie-impulstensor $T_{\mu\nu}$

De energie-impulstensor (of stress-energietensor) is dus een 4 x 4 matrix die de verdeling, de stroom en de druk van alle aanwezige materie, energie en straling in de ruimtetijd bevat.

Belangrijkste elementen van Einsteins zwaartekrachttheorie zijn dus de Metriektensor (aan de linkerkant van de formule) en de Energie-impulstensor (aan de rechterkant van de formule). Beide zijn een 4 x 4 matrix die werken met een vierdimensionaal weefsel: de ruimtetijd. Dit weefsel heeft drie ruimtelijke dimensies en één tijddimensie. Als je de tijd verwijdert, reduceert deze matrix naar een 3 × 3 matrix die alleen de platte of statische ruimte beschrijft, waarmee de formule haar natuurkundige betekenis verliest.

Kenmerk van de Higgsveld equivalentietheorie is juist het verwijderen van de tijd, waarmee Einsteins geometrische beschrijving van de zwaartekracht haar betekenis verliest. Kenmerk van de Higgsveld equivalentietheorie is óók dat de ruimte géén drie dimensies kent, maar bestaat uit vier dimensies. Dat wij deze ruimte driedimensionaal waarnemen komt doordat het licht de vorm van de hypersfeer volgt. Voor een geometrische beschrijving van de zwaartekracht in een 4 x 4 matrix zijn we daarmee terug bij een vierdimensionaal weefsel: een **hypersfeer**.

De Higgsveld equivalentietheorie geeft aan dat zwaartekracht een gekromd energieveld is (zwaartekrachtsveld) dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Massa creëert dit gekromd energieveld (gravitatieveld). Zwaartekracht is een energetisch (gravitationeel) potentiaalverschil met een toenemende veldsterkte van het zwaartekrachtveld richting massa. Zwaartekracht is een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme.

Feitelijk breekt de Higgsveld equivalentietheorie met de abstracte ruimtetijd-geometrie van Einstein en keert terug naar een kwantummechanische basis. Gezien het behoud van het werken met een 4 x 4 matrix die uitgaat van een vierdimensionaal weefsel (hypersfeer), blijft de geometrische formule voor zwaartekracht van Einstein volledig toepasbaar (zie onderstaand).

Higgsveld equivalentietheorie

In plaats van een aantrekkende kracht (zoals bij Newton) beschrijft Einstein de formule voor zwaartekracht in de algemene relativiteitstheorie als de **kromming van de ruimtetijd** veroorzaakt door massa en energie (de Einstein-veldenvergelijking). In de Higgsveld equivalentietheorie wordt de formule voor zwaartekracht als de **kromming van de hypersfeer** (veroorzaakt door massa en energie) beschreven met dezelfde formule.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Linkerkant $(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu})$: Dit deel beschrijft de meetkunde en de **kromming** van de hypersfeer.

Kruisterm $(\Lambda g_{\mu\nu})$: Dit is de **kosmologische constante**, die te maken heeft met donkere energie en de versnelde uitdijing van het heelal.

Rechterkant $(\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu})$: Dit deel beschrijft de hoeveelheid **massa, energie** en **momentum** die aanwezig is

De indices *μ* en *v*

De indices ***μ*** (mu) en ***v* (nu)** zijn variabelen die elk een waarde van 0 tot en met 3 kunnen aannemen. Elke waarde staat voor een specifieke dimensie in de vierdimensionale hypersfeer. Om het zwaartekrachtsveld op een geometrische wijze te beschrijven, handhaven we voor de indices ***μ*** (mu) en ***v* (nu) de waarden 0 tot en met 3, maar staat elke waarde specifiek voor één van de vier dimensies van het heelal:**
0 staat voor de **eerste ruimtelijke dimensie** (w)
1 staat voor de **tweede ruimtelijke dimensie** (x)
2 staat voor de **derde ruimtelijke dimensie** (y)
3 staat voor de **vierde ruimtelijke dimensie** (z)

Je ziet ***μ*** (mu) en ***v* (nu)** bijna altijd samen omdat ze worden gebruikt in **tensoren**. Tensoren zijn wiskundige objecten die relaties tussen verschillende dimensies beschrijven:

De Metriektensor $g_{\mu\nu}$ is een 4 x 4 matrix die de afstand en de vorm van de hypersfeer beschrijft.

Energie-impulstensor $T_{\mu\nu}$ (of stress-energietensor) is een 4 x 4 matrix die de verdeling, de stroom en de druk van alle aanwezige materie, energie en straling in de hypersfeer bevat.

Omdat er twee indices zijn die elk 4 waarden kunnen hebben, vormen ze samen een matrix van 16 combinaties (4 keer 4). Zo staat de combinatie ***μ*0** en ***v*0** voor de pure ruimtecomponent, terwijl de combinatie ***μ*1** en ***v*2** voor de relatie tussen de x- en y-as beschrijft. Een combinatie als ***μ*0** met ***v*1** is hierin de hypersfeer-component, evenals ***μ*0** samen met ***v*1** en ***v*2** en ***v*3** (een vierdimensionale hypersfeer).

Linkerkant vergelijking

De linkerkant $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}$ vergelijking beschrijft de **meetkundige kromming van de hypersfeer.**

De Ricci-krommingstensor

De Ricci-krommingstensor is $R_{\mu\nu}$ een wiskundig object dat meet hoeveel de hypersfeer afwijkt van een gewone, platte ruimte. Het geeft specifiek aan hoe het **volume** van een object verandert als het door de gekromde hypersfeer beweegt (bijvoorbeeld hoe een wolk van deeltjes vervormt door zwaartekracht).

De krommingsscalar of Ricci-scalar R

De Ricci-scalar is een enkel getal (een gemiddelde) dat de totale, gemiddelde kromming van de ruimte in een specifiek punt samenvat. Het schaalt de kromming, zodat de vergelijking voldoet aan de wet van behoud van energie.

De Metriektensor $g_{\mu\nu}$

De Metriektensor $g_{\mu\nu}$ is dus met een 4 x 4 matrix het belangrijkste basiselement van de relativiteitstheorie. Dit object bepaalt hoe je **afstanden en tijd** meet in een gekromde ruimte. Het fungeert als het "landschap" van de hypersfeer. Als je weet wat dat is, weet je precies hoe de zwaartekracht zich in dat gebied gedraagt.

De kosmologische constante Λ

De kosmologische constante is een constante die Einstein toevoegde om de energiedichtheid van de lege ruimte (het vacuüm) te beschrijven. Vandaag de dag linken we dit symbool aan **donkere energie**, de kracht die ervoor zorgt dat het heelal steeds sneller uitdijt, oftewel het Higgsveld met haar fundamenteel intrinsiek afstotende werking.

Rechterkant vergelijking $\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$

De rechterkant van deze vergelijking beschrijft hoe materie en energie aanwezig zijn in het heelal, wat de oorzaak is van de kromming van de hypersfeer (de zwaartekracht).

Pre-factor 8π

Dit is een wiskundige constante die voortkomt uit de integratie over een driedimensionale bolomgeving en zorgt voor de aansluiting op de klassieke zwaartekrachtswet van Newton.

Gravitatieconstante *G*

G is de gravitatieconstante van Newton. Het is een natuurconstante die aangeeft hoe de zwaartekracht tussen twee voorwerpen, hun massa's en hun afstand zich verhouden tot elkaar. Het is de natuurconstante die de fundamentele sterkte van de zwaartekracht tussen massa’s bepaalt.

Elektromagnetische straling *c*

c is de snelheid van elektromagnetische straling in vacuüm. De factor c^4 in de noemer is extreem groot, wat aangeeft dat hypersfeer zeer stijf is; er is een gigantische hoeveelheid energie of massa nodig om de ruimte merkbaar te krommen.

Energie-impulstensor $T_{\mu\nu}$

De energie-impulstensor (of stress-energietensor) is dus een 4 x 4 matrix die de verdeling, de stroom en de druk van alle aanwezige materie, energie en straling in de hypersfeer bevat.

In de algemene relativiteitstheorie is zwaartekracht een vierdimensionale ruimtetijd en is de formule voor zwaartekracht een abstracte ruimtetijd-geometrie. De Higgsveld equivalentietheorie keert terug naar een kwantummechanische basis. In de Higgsveld equivalentietheorie is zwaartekracht geen kromming van de ruimtetijd, maar een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Massa creëert dit gekromd energieveld (gravitatieveld). Zwaartekracht is een energetisch (gravitationeel) potentiaalverschil met een toenemende veldsterkte van het zwaartekrachtveld richting massa. Zwaartekracht is een gekromd energieveld (veldspanning), dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme. De wijze waarop zwaartekracht zich manifesteert in de vorm van een gekromde hypersfeer wordt met dezelfde formule als die in de algemene relativiteitstheorie berekend, met één verschil, de tijd wordt vervangen door een vierde ruimtedimensie.

Bijlage 1 Tijd

Kwantummechanica beschrijft elementaire deeltjes niet als puntjes, maar als trillingen in onzichtbare kwantumvelden, die door het hele heelal verspreid zijn; een deeltje (zoals een elektron) is dan een specifieke 'golf' in zo'n veld, en deze golven representeren de deeltjes zelf, dus trillingen zijn essentieel voor hun bestaan. Staat een elementair deeltje stil, dan bestaat hij niet meer. De kleinst mogelijke betekenisvolle eenheid van het heden is dan ook één trilling van één elementair deeltje. In lijn met de Franse filosoof **René Descartes** (1596 – 1650), hij woonde een groot deel van zijn leven in de Republiek der Zeven Verenigde Nederlanden, die in 1637 zei: "*Cogito, ergo sum*" (ik denk, dus ik ben) kan gezegd worden: "***Tremito, ergo sum***" (ik tril, dus ik besta).

Met andere woorden, het heden bestaat uit één trilling van een elementair deeltje. Meer specifiek één gelijktijdige trilling van alle elementaire deeltjes in het heelal.

Tot 1905 werd het begrip tijd slechts op één manier uitgelegd: alleen het heden bestaat; we kunnen niet terug in de tijd om voorbije tijden te herleven, en de toekomst bestaat nog niet omdat die nog niet begonnen is. **Lineair tijdsbesef** noemen we dit. In 1905 bedacht Einstein de speciale relativiteitstheorie, een geheel nieuwe theorie om het begrip tijd te verklaren.

Wat als tijd niets meer of minder is dan een waarneming van ons als mens. Bestaat tijd dan nog wel als wij als waarnemers er niet meer zijn? Erger nog, geld de speciale relativiteitstheorie nog wel als wij als waarnemers er niet meer zijn?

Ondanks hetgeen Einstein in 1905 had bedacht, kan niet anders geconcludeerd worden dan dat tijd niets meer is dan een waarneming van de mens. De tijd is een begrip die we als mens hebben bedacht, om de wereld om ons heen te kunnen beschrijven. De periode tussen twee zonsopgangen is een dag, of in kleinere eenheden uitgedrukt in de SI-eenheid een seconde.



Zonsopgang Kinderdijk Nederland (bron: www.jodyzweserijnphotography.nl)

Deze door de mensen bedachte tijdmeting is echter géén entiteit. Een entiteit is letterlijk iets dat werkelijk bestaat. De term beklemtoont de hoedanigheid dat het er is. Niet alleen zonder waarnemers is tijd géén entiteit, ook mét waarnemers is tijd géén entiteit.

Met een tijd die géén entiteit is en het heden dat wel een entiteit is, zien we dat álle natuurwetten blijven gelden op en achter de grens van een waarnemingshorizon bij een zwart gat. Hiermee kan een eerste stap richting een beter begrip van zwaartekracht worden gezet.

Om aan te tonen dat het heden wél een entiteit is, dient eerst het begrip 'heden' te worden omschreven.

Onderdeel van een tijd die wij als mensen waarnemen als een verandering van verleden richting de toekomst is het **heden**. Ook wel te omschrijven als: "***alle 'energetische' gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid***" (en zoals boven beschreven is de kleinst mogelijke betekenisvolle eenheid van het heden één trilling van één elementair deeltje). Dit heden is een entiteit, het bestaat echt. Een heden waarvan ook iedereen overtuigd is dat het wel degelijk bestaat.

Zoals de snaartheorie aangeeft bestaat het allerkleinste (alle massaloze deeltjes en deeltjes met massa) uit trillende energiedeeltjes. Massa is dus opgebouwd uit energie. Wanneer gesproken wordt over 'energetische gebeurtenissen' wordt dus ook massa bedoeld.

Naast dat het heelal en het Higgsveld één en hetzelfde zijn, is het ook fascinerend om te zien dat zowel het heden als het heelal omschreven kunnen worden met dezelfde bovenstaande begripsomschrijving: "alle 'energetische' gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid". Ook het heelal is een entiteit, het bestaat echt.

Om hier dieper in te duiken is het goed te kijken naar diverse begrippen die met tijd te maken hebben en nader te onderzoeken of deze begrippen als entiteit zijn aan te merken.

Het **heden** als: "alle 'energetische' gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid" is dus een entiteit. Vraag is of de begrippen verleden, toekomst, tijd – als aanduiding van een tijdstip, tijd – als aanduiding van het meten van een interval tussen twee tijdstippen en tijd – als opéénvolging van gebeurtenissen nu wel of géén entiteit zijn.

Het **verleden**: "alle 'energetische' gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid zoals dat is geweest", oftewel "**het heden zoals dat is geweest**". Een verleden dat niet meer bestaat en dus ook géén entiteit is.

De **toekomst**: "alle 'energetische' gebeurtenissen met ieder hun eigen plaats en universeel gelijktijdigheid dat nog moet komen", oftewel "**het heden dat nog moet komen**". Omdat de toekomst nog niet bestaat is ook de toekomst géén entiteit.

De **tijd – als aanduiding van een tijdstip** (dat in het verleden, heden of toekomst kan liggen), aangeduid als tijdstip. De tijd als aanduiding van een tijdstip kan géén entiteit zijn omdat het tijdstip in het verleden of de toekomst ligt.

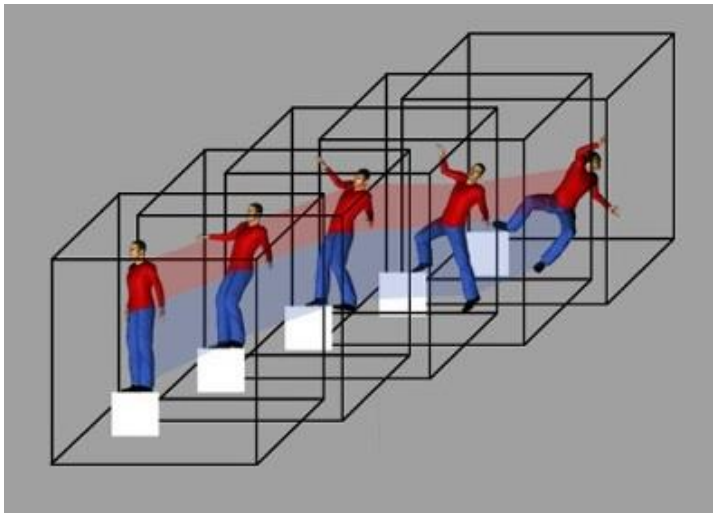
De **tijd – als aanduiding van het meten van een interval tussen twee tijdstippen**, gemeten in de SI-eenheid seconde, betreft het meten van het interval tussen een niet meer bestaande entiteit "het heden zoals dat is geweest" en de wel bestaande entiteit heden. Het meten van een interval tussen een niet meer bestaande entiteit en een wel bestaande entiteit kan dan ook géén entiteit zijn.

De **tijd – als opéénvolging van gebeurtenissen.** Op 31 mei 2021 stuurde prof. dr. Henny Lamers van de Universiteit van Utrecht mij de volgende mail: *"In de natuurkunde wordt tijd begrepen en gedefinieerd als een 'opéénvolging van gebeurtenissen'."* Wanneer een begripsomschrijving bestaat uit opeenvolgende gebeurtenissen vallen die deels in het verleden en deels in het heden, of deels in het heden en deels in de toekomst, of deels in zowel het verleden, heden als toekomst. Wanneer een deel van een begripsomschrijving niet als entiteit kan worden aangemerkt, kan de volledige begripsomschrijving *opéénvolging van gebeurtenissen'* ook niet als entiteit worden aangemerkt.

In de speciale relativiteitstheorie, waar **absolute tijd** niet bestaat, wordt uitgegaan van een **eigentijd** en een **relatieve tijd**. Met een tijd die géén entiteit is, zien we dat absolute tijd, eigentijd en relatieve tijd ook géén entiteit zijn.

Ruimtetijd. Albert Einstein ging er in zijn speciale relativiteitstheorie van uit dat ruimte en tijd van elkaar afhankelijk zijn. Door deze theorie mogen ruimte en tijd volgens Minkowski, niet langer als afzonderlijke grootheden worden opgevat. Dit vormt de kern van zijn essay uit 1908 waarin hij op de speciale relativiteitstheorie voortbouwt [11)], hierin zijn ruimte en tijd aspecten van een verenigd geheel, de ruimtetijd, bestaande uit drie ruimtelijke dimensies en de dimensie tijd. Omdat tijd géén entiteit is, zijn **ruimtetijd** en een **gekromde ruimtetijd** dan ook géén entiteit.

Wanneer we meerdere vectoren van ruimte en tijd achter elkaar plaatsen (zoals de dia's in een film) krijgen we wat de wetenschap een **blokuniversum** noemt (zie onderstaande afbeelding). Aangezien ruimtetijd géén entiteit is, kan ook het blokuniversum géén entiteit zijn. Wel kan het een beschrijving geven van gebeurtenissen in het verleden in drie dimensies ruimte en één dimensie tijd (een tijd die géén entiteit is).



In de huidige theoretische natuurkunde is echter het idee opgevat dat we leven in een vierdimensionaal blokuniversum. Verleden, heden en toekomst zouden daarin naast elkaar bestaan. Gebeurtenissen uit het verleden zijn niet verdwenen maar liggen in een ander deel van de ruimtetijd. Iedere waarnemer bevindt zich in zijn eigen 'nu'-punt. Wat voor de een nu gebeurt, kan volgens de huidige theoretische natuurkunde voor een ander al in het verleden of nog in de toekomst liggen. Dat is de basis van het Eternalisme (gelijkwaardig bestaan van verleden, heden en toekomst). Binnen het Eternalisme is vrije wil een illusie als de toekomst toch al vastligt. Gelukkig kan met een tijd die géén entiteit is, wél geconcludeerd worden dat onze vrije wil nog wel degelijk bestaat.

[11] **Minkowski, H.** (1907–1909), "Raum und Zeit", Physikalische Zeitschrift 10: 75–88

Aangezien tijd géén entiteit is, zijn ook relatieve tijd en een gekromde ruimtetijd géén entiteit. Dit zijn echter wel de basis ingrediënten waarmee de speciale en algemene relativiteitstheorie zijn opgebouwd. Het huidige beeld van de wereld (en dus ook het gereedschap waarmee we binnen de speciale en algemene relativiteitstheorie werken) kán dus niet kloppen. We zien dat de speciale relativiteitstheorie zonder tijd haar status als 'fundamentele' theorie verliest en dat de algemene relativiteitstheorie haar status als 'fundamentele' theorie kan behouden, wanneer in het begrip 'ruimtetijd' de vierde dimensie 'tijd' wordt vervangen door een vierde dimensie 'ruimte'.

Hoe zit het met waargenomen 'tijddilatatie'?

Het is wel bewezen dat de tijd van de ene waarnemer anders kan verlopen dan de tijd van een andere waarnemer. Boven op een berg verloopt de (niet bestaande entiteit) atoomtijd sneller dan de (niet bestaande entiteit) 'atoomtijd' onder aan de berg. Hoe dit kan? Dit verschil in atoomtijd ontstaat als gevolg van een gekromd energieveld rondom massa. De snelheid van het bewegen van atomen (bijvoorbeeld cesiumatomen) wordt beïnvloed door de veldsterkte van dit gekromd energieveld rondom massa. Des te sterker dit zwaartekrachtveld, des te langzamer verloopt de 'atoomtijd'. Bekend is, dat bij vliegtuigen die in tegengestelde richting rond de aarde vlogen een verschil in (een niet bestaande entiteit) tijd is gemeten, ondanks dat beide vliegtuigen op dezelfde hoogte vlogen. Dit 'tijdsverschil' in beide vliegtuigen heeft echter te maken met het feit dat één van beide vliegtuigen langer op vlieghoogte moest vliegen (waar de tijd dus sneller verloopt dan op aarde) omdat deze met de draaiing van de aarde meevloog. Let wel, dit bewezen tijdverschil heeft niets te maken met 'tijddilatatie'.

Hoe zit het met de richting van tijd?

Zoals we in dit hoofdstuk hebben gezien is 'tijd – als aanduiding van het meten van een interval tussen twee tijdstippen' géén entiteit. Voor de duidelijkheid, de richting van de tijd (bepaald door twee verschillende tijdstippen te nemen) kan dan ook geen entiteit zijn.

In de natuurkunde is tijd vertaald naar een 'opéénvolging van gebeurtenissen', gemeten door de interval tussen twee separate toestanden van 'het heden', uitgedrukt in de eenheid 'seconde'. Door een interval tussen twee separate toestanden van 'het heden' te hanteren, ontstaat een richting van de tijd (een richting van de tijd dat geen entiteit is).

Binnen de natuurwetten wordt er geen richting van tijd aangegeven, de natuurwetten behandelen voorwaarts en achterwaarts in tijd gelijk. Natuurkundige theorieën zijn vervat in wiskundige vergelijkingen. Hierin kan de factor tijd als 'opéénvolging van gebeurtenissen' worden omgekeerd (t door –t vervangen) zonder dat de uitkomst verschilt.

Veel wetenschappers gaan er van uit dat de richting van de tijd als 'opéénvolging van gebeurtenissen' bepaald wordt door een toestand van maximale entropie (maat van wanorde) zoals vereist in de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Deze wet zegt dat in een gesloten systeem, zoals het heelal, de entropie alleen maar gelijk kan blijven of kan toenemen.

De verandering van het heden wordt inderdaad beïnvloed door entropie, maar net zo goed door zwaartekracht (denk aan het kopje dat van de tafel op de grond valt).



Samengevat:

Wat de niet bestaande entiteit tijd wél is, is een beschrijving van de ontwikkeling van '*opéénvolging van gebeurtenissen*'. Net als dat de mens het begrip tijd heeft bedacht om een beschrijving van de periode tussen twee zonsopgangen te kunnen geven.

Tijd is dus alleen maar een meetlat om de ontwikkeling van het '*heden zoals dat is geweest',* via het '*heden*' naar een '*heden dat nog moet komen*' te kunnen beschrijven.

Deze meetlat is dus in geen enkel opzicht onderdeel van de natuurwetten.

In de natuurkunde wil men tijd graag zien als een meetbare, kwantificeerbare dimensie (een 'grootheid' voor verandering, snelheid, enz.) binnen het heelal, terwijl de filosofie zich bezighout met de *ervaring* van tijd (verleden, heden, toekomst), de aard van '*nu*', het verstrijken, en de subjectieve betekenis (vergankelijkheid, hoop). Natuurkunde beschrijft *hoe* tijd werkt, filosofie *hoe* we het beleven.

Welk begrip tijd je ook gebruikt (natuurkundig of filosofisch), tijd is géén entiteit.

Bijlage 2 Relativiteitstheorieën

Zoals uit dit document blijkt behoren relativistische tijd-ruimte-transformaties (lengtecontractie en relatieve tijd) tot het verleden. Wel zijn de postulaten van de speciale relativiteit zoals die zijn beschreven in 1905 en herschreven in 1923 volledig juist (zie hoofdstuk 3).

De speciale relativiteitstheorie verliest haar status als 'fundamentele' theorie omdat fotonen geen koppelconstante met het in 2012 gevonden Higgsveld hebben en zich dus ongehinderd door het Higgsveld kunnen bewegen, waardoor het toepassen van relativistische tijd-ruimtetransformaties (lengtecontractie en tijddilatatie) hun bestaansrecht hebben verloren. Bij de algemene relativiteitstheorie zien we dat het toepassen van relativistische tijd-ruimtetransformaties erin resulteert dat de zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd kán zijn, maar dat zwaartekracht een gekromd energieveld is, dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Zoals uit bijlage 1 blijkt is een gekromde ruimtetijd bovendien géén entiteit. Onderstaand zal dieper ingegaan worden op zowel de speciale als de algemene relativiteitstheorie.

Het klassieke relativiteitsprincipe van Galileo Galilei

In het boek "*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*" ("*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*)" vergeleek Galileo Galilei in 1632 het geocentrische wereldbeeld (de aarde in het middelpunt van het universum) van Ptolemaeus (87-150) met het heliocentrisch wereldbeeld (de zon in het centrum) van Copernicus (1473-1543). Hierin [12)] beschreef hij zijn principe van relativiteit als volgt (**het klassieke relativiteitsprincipe**):

"Sluit jezelf op . . . in de hoofdkajuit benedendeks van een groot schip. . . . Neem een grote kom met water en met enkele vissen erin. . . . Als het schip stilligt . . . zwemmen de vissen zonder voorkeur in alle richtingen. Nadat je dit . . . nauwkeurig . . .hebt bestudeerd . . . laat dan het schip voortgaan met een willekeurige snelheid, zolang de beweging maar éénparig is. . . . Je zult geen verschil merken . . . noch zou je kunnen zeggen . . . of het schip beweegt of stilligt".

Het klassieke relativiteitsprincipe van Galilei laat zien dat je onmogelijk kunt weten wie er beweegt en wie er stil staat. Het klassieke relativiteitsprincipe van Galileo Galilei stelt dat natuurkundige wetten in alle inertiaalstelsels hetzelfde zijn. Een waarnemer die met constante snelheid in een rechte lijn beweegt, ervaart exact dezelfde natuurwetten als een waarnemer in rust. Hierdoor is het voor een persoon in een stilstaande of constant bewegende ruimte onmogelijk om zonder naar buiten te kijken te bepalen of hij beweegt.

Onlosmakelijke koppeling tussen lengtecontractie en relatieve tijd

Albert Einstein bedacht in 1905 dat het niet alleen lengtecontractie was, maar dat ruimte en tijd met elkaar verweven zijn in de eenheid van snelheid (meters per seconde), waarin volgens Einstein lengtecontractie en relatieve tijd (tijddilatatie) **gezamenlijk** uitvoering geven aan het *relativiteitsprincipe* en de *absolute lichtsnelheid*.

[12] **Galileo Galilei**: *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* (University of California Press, 1962), p. 186

Ruimte en tijd zijn in relatie tot snelheid (v) met elkaar verweven in de breuk m/s. Een breuk bestaat uit een teller en noemer. Bij het bepalen van een relativistische snelheid worden teller en noemer met dezelfde relativistische formule vermenigvuldigd: de formule van Lorentz $\sqrt{(1-v^2/c^2)}$. Feit blijft dat op het moment dat je lengtecontractie in een experiment opneemt, je automatisch relatieve tijd zult vinden als gevolg van de verhouding tussen lengtecontractie en relatieve tijd.

$$V\ \frac{\text{lengtecontractie}}{\text{relatieve tijd}} = V\ \frac{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = V\ \frac{m}{s}$$

Er zit dan ook géén verschil in snelheid tussen een snelheid mét of een snelheid zónder relativistische tijd-ruimte-transformaties.

De lentecontractie wordt berekend met formule $L = L_o\sqrt{(1-v^2/c^2)}$, waarbij L de lengte vertegenwoordigt (maar ook de afgelegde weg) van het bewegend object volgens de waarnemer in het stationaire referentiekader, terwijl L_o de eigen lengte (maar ook de afgelegde weg) van het bewegend object vertegenwoordigt bij snelheid v (die volgens de waarnemer in het bewegend object gelijk blijft aan de lengte bij het vertrek uit het stationaire referentiekader).

Voorbeeld berekening van lengtecontractie.

v = 0,4 c	L lengtecontractie = 0,92	(bij 1 meter = 92 cm)
v = 0,6 c	L lengtecontractie = 0,8	(bij 1 meter = 80 cm)
v = 0,96 c	L lengtecontractie = 0,28	(bij 1 meter = 28 cm)
v = 0,99 c	L lengtecontractie = 0,14	(bij 1 meter = 14 cm)
v = 0,99999 c	L lengtecontractie = 0,00447	(bij 1 meter = 0,5 cm)
v = c	L lengtecontractie = 0	(bij 1 meter = 0 cm)

Zoals we zien is de afgelegde weg van het bewegend object nu volgens de waarnemer op aarde korter, terwijl de man in de raket zelf denkt dat hij nog steeds 1 meter aflegt in zijn raket.

De relatieve tijd wordt berekend met het omgekeerde van de relativistische formule voor lengtecontractie met de formule $\Delta\mathbf{t} = \Delta\mathbf{t_o}/\sqrt{(1-v^2/c^2)}$, waarbij $\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd is, oftewel de tijd van het bewegend object (b.v. een raket) volgens de waarnemer in het stationaire referentiekader (b.v. de aarde) bij snelheid **v** van het bewegend object, terwijl $\Delta\mathbf{t_o}$ de tijd vertegenwoordigt die verstreken is in het stationaire referentiekader (b.v. op aarde), en volgens de waarnemer in zijn raket gelijk is aan zijn eigen tijd in zijn raket.

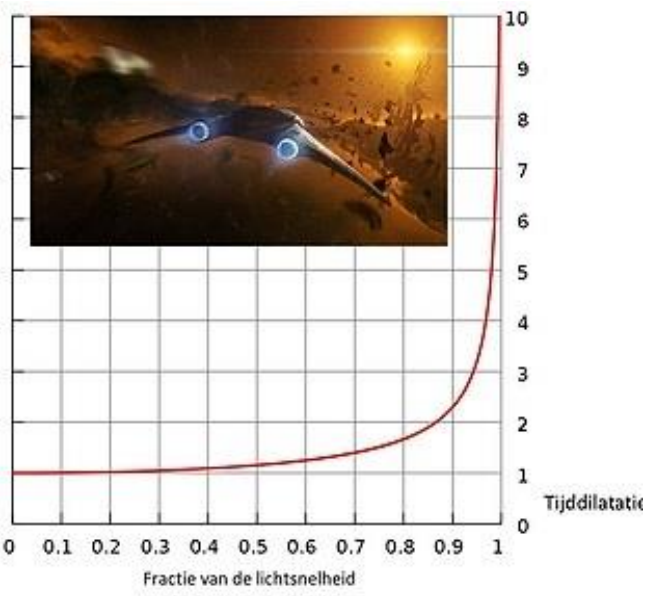
Voorbeeld berekening van tijddilatatie (rode lijn).

v = 0,4 c	tijddilatatie = 1,09	$\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd = 0,92	(bij 1 uur = 3.312 sec.)
v = 0,6 c	tijddilatatie = 1,25	$\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd = 0,8	(bij 1 uur = 2.880 sec.)
v = 0,96 c	tijddilatatie = 3,57	$\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd = 0,28	(bij 1 uur = 1.008 sec.)
v = 0,99 c	tijddilatatie = 7,09	$\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd = 0,14	(bij 1 uur = 508 sec.)
v = 0,99999 c	tijddilatatie = 223,61	$\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd = 0,00447	(bij 1 uur = 16 sec.)
v = c	tijddilatatie = oneindig	$\Delta\mathbf{t}$ de relatieve tijd = 0	(bij 1 uur = 0 sec.)

Zoals we zien staat de tijd voor de man in de raket volgens de waarnemer op aarde stil (terwijl de man in de raket zelf denkt dat zijn tijd gewoon doorloopt).

Voor de waarnemer op aarde lijkt het erop dat wanneer er een uur tijd op aarde verstrijkt (**3.600** seconden) er volgens de waarnemer op aarde in de raket die met **0,4 c** vliegt er **3.302 seconden** in de raket zijn verlopen. Let wel: de astronaut denkt nog steeds dat er 3.600 seconden zijn verlopen (een uur) in zijn raket.

Voor de waarnemer op aarde lijkt het erop dat wanneer er een uur tijd op aarde verstrijkt (**3.600** seconden) er volgens de waarnemer op aarde in de raket die met **0,99999 c** vliegt er **16 seconden** in de raket zijn verlopen. Let wel: de astronaut denkt nog steeds dat er 3.600 seconden zijn verlopen (een uur) in zijn raket.

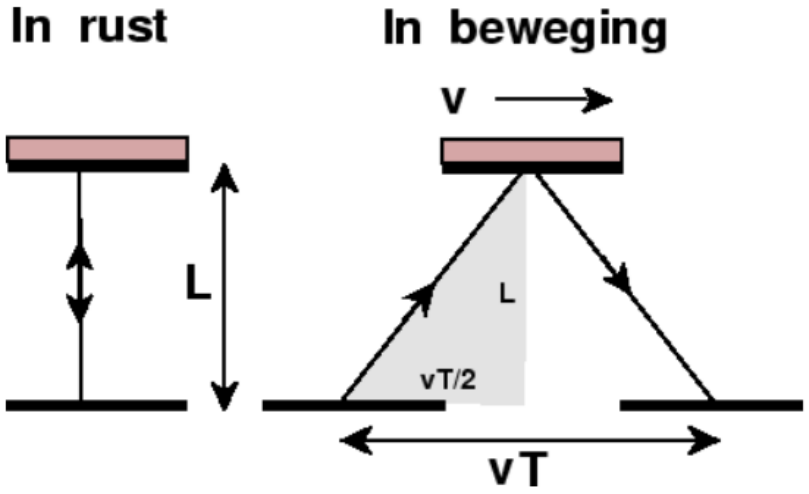


De formule van de Lorentzfactor leert dat wanneer de snelheid v gelijk is aan de snelheid van het licht (c) je deelt door nul. Delen door nul is binnen de standaard rekenkunde ongedefinieerd. Er kan binnen de standaard rekenkundige geen zinnige betekenis worden gegeven aan het resultaat van delen door nul. Het is in de wiskunde wel mogelijk om in bepaalde gevallen een zinvolle betekenis te geven aan het delen door nul door deze berekening als limiet of grenswaarde te zien. Het krijgt dan de betekenis ‘oneindig’.

Uit bovenstaande blijkt dat bij het bereiken van de lichtsnelheid de rode lijn uit bovenstaand tabel in rechte lijn omhoog loopt naar het oneindige.

Gedachte-experiment met een lichtklok

Einstein onderbouwde zijn speciale relativiteitstheorie met zijn gedachte-experiment van een ‘lichtklok’. Hierin maakte hij het begrip ‘tijddilatatie’ duidelijk. Het idee van een lichtklok is dat er een foton met snelheid c (de lichtsnelheid) heen en weer gekaatst wordt tussen twee spiegels met een afstand L ertussen (zie onderstaand figuur), en iedere weerkaatsing is een ‘tik’ van de klok.



Hoe de lichtklok werkt:

- **De lichtklok:** Stel je een klok voor met twee spiegels, waarbij een lichtpuls op en neer kaatst. Elke 'tik' is een volledige heen-en-weer reis van het licht (zie bovenstaande afbeelding).
- **Stilstaande klok:** Voor een stilstaande waarnemer legt het licht een eenvoudige verticale afstand af (heen-en-weer), de situatie ‘In rust’ in bovenstaande afbeelding.
- **Bewegende klok (gedachte-experiment):**
  als deze bewegende klok voorbij een stilstaande waarnemer gaat, moet de lichtpuls voor de stilstaande waarnemer een diagonaal pad afleggen om de spiegels te bereiken, omdat de spiegels meebewegen, de situatie ‘In beweging’ in bovenstaande afbeelding; dit diagonale pad is **langer** dan het rechte verticale pad van de stilstaande klok.
- **De constante snelheid (c):** Het cruciale punt is dat de lichtsnelheid altijd c is. De snelheid van het licht verandert niet, zelfs niet in een bewegend referentiekader.
- **De logische conclusie (lineaire relatie):**
  Aangezien Tijd = Afstand / Snelheid, en de snelheid (c) constant blijft, maar de **afstand** toeneemt voor de bewegende klok, **moet de waargenomen tijd (de 'tik' van de bewegende klok) toenemen (de klok loopt langzamer).**

Waarom de tijd in de lichtklok niet lineair is:

Tijddilatatie in Einsteins lichtklok is lineair omdat het een direct gevolg is van de fundamenteel constante lichtsnelheid (c) voor alle waarnemers, ongeacht hun beweging. Als een lichtstraal een langere weg moet afleggen (omdat de klok beweegt), en de lichtsnelheid niet kan veranderen, dan **moet de tijd zelf langzamer verlopen** voor die bewegende klok, zodat de vergelijking Tijd = Afstand / Snelheid altijd klopt, wat resulteert in een directe, proportionele (lineaire) vertraging.

Waarom is de relatie tussen de verstreken tijd voor een stilstaande en een bewegende klok dan niet lineair (zoals de formule voor tijddilatatie aangeeft)?

De niet-lineaire toename van tijdsvertraging (tijddilatatie) bij de lichtklok van Einstein komt door de meetkundige relatie tussen de snelheid van het object en de constante lichtsnelheid.

In het model van de lichtklok legt een lichtstraal een schuine weg af voor een bewegende klok. De drie componenten van deze beweging vormen een rechthoekige driehoek:

- De **verticale zijde** is de afstand tussen de spiegels ($c \cdot \Delta t_0$).
  Hier wordt de tijd van de stilstaande klok (deeltjes met massa) vermenigvuldigd met de snelheid van het licht (deeltjes zonder massa) om de lengte van de verticale hoogte van de klok te krijgen.
- De **horizontale zijde** is de verplaatsing van de klok zelf ($v \cdot \Delta t$).
  Hier wordt de tijd van de bewegende klok (deeltjes met massa) vermenigvuldigd met de eigen snelheid van de klok (deeltjes met massa).
- De **schuine zijde** is de totale afstand die het licht aflegt ($c \cdot \Delta t$).
  Hier wordt de tijd van de bewegende klok (deeltjes met massa) vermenigvuldigd met de snelheid van het licht (deeltjes zonder massa) om de lengte van de schuine zijde te krijgen die het licht aflegt verticale hoogte in de tijd van de bewegende klok (deeltjes met massa).

Volgens Pythagoras geldt: $(c \cdot \Delta t_0)^2+(v \cdot \Delta t)^2=(c \cdot \Delta t)^2$. Omdat de variabelen in het **kwadraat** staan, is de relatie tussen snelheid (v) en tijd (Δt) direct niet-lineair.

Wanneer je de bovenstaande vergelijking oplost voor de tijd, ontstaat de Lorentzfactor:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

De tijdsvertraging neemt niet-lineair toe omdat de lichtsnelheid (c) een onoverbrugbare grens is. Als de toename lineair zou zijn, zou de tijd simpelweg blijven vertragen in een rechte lijn. De tijd moet echter "oneindig veel" vertragen om te voorkomen dat een object met massa ooit de snelheid van het licht bereikt of overschrijdt.

Waarom de lichtklok klopt binnen het klassieke relativiteitsprincipe

Omdat de natuurwetten in de bewegende trein exact hetzelfde moeten werken als op het perron (het klassieke relativiteitsprincipe van Galilei), **moet** de lichtpuls in de trein recht op en neer gaan voor de reiziger. De reiziger merkt niks van de beweging.

De waarnemer op het perron ziet het licht echter diagonaal gaan. Omdat de snelheid van het licht voor beiden gelijk is, is de enige logische conclusie dat de tijd op het perron anders verloopt dan in de trein.

Omdat er geen absolute stilstand bestaat, mag elke waarnemer zichzelf als "stilstaand" beschouwen en de ander als "bewegend". Dit geldt dus ook voor beide waarnemers in het gedachtenexperiment. Dit wordt de wederkerigheid (of **symmetrie**) van tijddilatatie genoemd.

De waarnemer op het perron ziet de klok in de trein diagonaal bewegen. Hij concludeert: *"De tijd in de trein loopt langzamer."*

De waarnemer in de trein ziet het perron (en de waarnemer daarop) in snelle vaart achteruit bewegen. Voor de reiziger legt het licht van de perronklok een diagonale baan af. Hij concludeert dus met exact dezelfde logica: *"De tijd op het perron loopt langzamer."*

Dit is geen gezichtsbedrog. Als ze elkaar via een videoscherm zouden bekijken, zien ze de beelden van de ander écht in slow-motion bewegen. Beide waarnemers hebben volgens de natuurkunde **gelijk**.

Tweelingparadox bestaat niet

Bovengenoemde symmetrie in de lichtklok roept direct een logische vraag op: als ze later weer bij elkaar komen, wie is er dan écht minder verouderd? De huidige theoretische natuurkunde geeft aan dat het niet uitmaakt of jij stilstaat en de ander beweegt of dat de ander stilstaat en jij beweegt. Deze tijddilatatie op zich is problematisch, want hoe kunnen beiden vinden dat de klok van de ander langzamer loopt? Dat is volgens de huidige theoretische natuurkunde de zogenaamde **tweelingparadox**. Om dit 'probleem' op te lossen geeft de huidige theoretische natuurkunde aan dat de symmetrie wordt verbroken zodra één van de twee moet afremmen en omkeren om weer bij de ander te komen. De waarnemer die afremt en versnelt, wisselt van referentiestelsel en zal bij terugkomst écht jonger zijn

De paradox ontstaat volgens de huidige theoretische natuurkunde door de schijnbare tegenstelling van symmetrie en asymmetrie:

- enerzijds is er de symmetrie dat beide tweelingbroers ten opzichte van elkaar bewegen,
- anderzijds is het uiteindelijke effect asymmetrisch, omdat de beide broers verschillende leeftijden hebben na afloop.

De oplossing van die paradox zit volgens de huidige theoretische natuurkunde in het besef dat er in de bovenstaande beschrijving een asymmetrisch deel van het experiment is weggelaten: hun snelheid is weliswaar relatief, en dus symmetrisch, maar alleen de reizende broer draait om en daarmee verandert zijn idee van gelijktijdigheid, een effect dat volledig onder de speciale relativiteitstheorie valt. En dit effect voor de omkerende tweelingbroer, zorgt voor de asymmetrie tussen de twee broers. Om deze asymmetrie te zien, moet je je realiseren dat er niet twee, maar drie relevante inertiaalstelsels zijn:

1. een waarin de thuisblijver in rust blijft
2. een waarin de reiziger op de heenweg is
3. een waarin de reiziger op de terugweg naar huis is

Zowel bij zijn vertrek als bij zijn aankomst en het omkeren verandert de reiziger van referentiestelsel, maar alleen het omkeren heeft een effect op de relatieve veroudering van de twee broers.

De huidige theoretische natuurkunde geeft aan dat het niet uitmaakt of jij stilstaat en de ander beweegt of dat de ander stilstaat en jij beweegt. Feitelijk is niet alleen hun snelheid relatief, maar ook positie ten opzichte van de ander relatief en dus symmetrisch. Ten opzichte van de reiziger beweegt de thuisblijver zich weg van de reiziger. Ook hier zien we drie relevantie intertiaalstelsels:

1. een waarin de reiziger in rust blijft
2. een waarin de thuisblijver zich van de reiziger verwijderd
3. een waarin de thuisblijver de reiziger weer nadert

Net zoals bij de lichtklok zijn beide situaties identiek en kan alleen maar geconcludeerd worden dat veroudering van de een ten opzichte van de ander zich niet voordoet.

In de situatie van een vierdimensionaal heelal (zoals de Higgsveld equivalentietheorie aangeeft) kan er al helemaal géén sprake zijn van een tweelingbroer die ouder is geworden dan de ander, omdat hier helemaal geen sprake is van een omkering door afremmen en omkeren om weer bij de ander te komen als je het 'rondje' heelal maakt.

Verval muonen in laboratoriumsituatie

Elementaire deeltjes [13)], die zeer kleine massa's hebben (gewoonlijk 10^{-30} t/m 10^{-27} kg) vragen weinig energie om te kunnen worden versneld tot snelheden in de buurt van de snelheid van het licht. Veel van deze elementaire deeltjes zijn niet stabiel en vervallen na enige tijd tot lichtere deeltjes. Het verval van muonen is in laboratorium gemeten.

In het laboratorium meet de laborant een snelheid van de muon v = 0,6 c, oftewel $1{,}80 \times 10^8$ m/s. De laborant meet een gemiddelde levensduur van $2{,}8 \times 10^{-6}$ s en hij meet een afgelegde afstand van 500 meter, voordat het vervalt.

De speciale relativiteitstheorie zegt dat de gemiddelde levensduur van een muon met een snelheid van 0,6 c dus een gemiddelde levensduur oplevert van $2{,}2 \times 10^{-6}$ s.

Wanneer deze levensduur vermenigvuldigd wordt met de snelheid $1{,}80 \times 10^8$ m/s krijgen we een afgelegde afstand van 400 meter.

Dit is korter dan de gemeten afstand. Aangezien de tijd langzamer loopt voor de muon met een snelheid van 0,6 c legt deze een afstand af van 1,25 maal 400 meter = 500 meter. Precies wat in het laboratorium is gemeten!

Dit past volledig in het beeld dat Einstein beschreef, toen hij aangaf dat lengtecontractie en relatieve tijd gezamenlijk uitvoering geven aan het *relativiteitsprincipe* en de *absolute lichtsnelheid*.

Werking Global Positioning System (GPS)

GPS-satellieten draaien in circulaire banen rond de aarde op 20.200 km hoogte. In het GPS-systeem worden van de signalen van (minimaal) drie satellieten de positie van de satellieten en tijdsverschil verrekend in het GPS-systeem. Tevens wordt daarbij rekening gehouden met de draaiing van de aarde (het bepalen van het noorden is daarbij van belang), maar ook met de snelheid van het GPS-systeem zelf (in verband met het tijdsverschil tussen ontvangst van deze minimaal drie signalen). Deze satellieten zenden signalen uit waarop tijdstip van uitzending en positie-informatie van de satelliet is gecodeerd. De positie die door een GPS-ontvanger wordt berekend, vereist de huidige tijd, de positie van de satelliet en de gemeten vertraging van het ontvangen signaal. De positienauwkeurigheid is voornamelijk afhankelijk van de positie van de satelliet en de signaalvertraging.

Satellieten hebben aan boord meerdere atoomklokken die de tijd meten met een nauwkeurigheid van nanoseconden. Vanwege de zwakkere zwaartekracht op vlieghoogte tikken de klokken sneller dan op aarde (45 microseconden per dag – algemene relativiteitstheorie). Vanwege de hoge snelheid van de satelliet tikken de klokken juist langzamer dan op aarde (7 microseconden per dag – speciale relativiteitstheorie). Deze effecten worden bij deze atoomklokken zowel vóór de lancering als tijdens de missie constant aangepast en gecorrigeerd.

Voor de lancering worden atoomklokken nauwkeurig getest en 'teruggezet' (vertraging toegevoegd van 38 microseconden per dag) zodat ze, eenmaal in de baan van de satelliet, synchroon lopen met de tijd op aarde. Tijdens de missie zenden satellieten hun tijdsignalen naar de grond. Wanneer we deze relativiteitsverschillen niet meenemen zou dit in het slechtste geval een onzekerheid van 10 meter per dag opleveren.

---

[13] **Giancoli, D.C.**: Natuurkunde deel 2, Elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica vierde editie, Pearson Benelux B.V., maart 2014, hoofdstuk 36 (speciale relativiteitstheorie)

Hoewel de klokken aan boord van een satelliet autonoom zijn, worden ze *voortdurend* gecontroleerd en gesynchroniseerd door grondstations om een ongewenste afwijking in een waarde of frequentie door externe factoren te minimaliseren om nauwkeurig gesynchroniseerd te blijven met de referentieklokken op aarde.

Door deze voortdurende synchronisatie zijn het toepassen van de algemene relativiteitstheorie of de effecten van de speciale relativiteitstheorie niet relevant.

Relativistische snelheidssommatie

$$W = \frac{V+U}{1+\frac{V \cdot U}{c^2}}$$

Deze formule wordt de relativistische snelheidssommatie genoemd.

Deze formule komt uit de speciale relativiteitstheorie van Albert Einstein. Je gebruikt hem om snelheden bij elkaar op te tellen wanneer objecten extreem snel bewegen (dicht bij de lichtsnelheid). Waarin V de snelheid van een object (bijvoorbeeld een ruimteschip) ten opzichte van een stilstaande waarnemer. U is de snelheid van een tweede object (bijvoorbeeld een raket die wordt afgeschoten) ten opzichte van het eerste object. W is de totale snelheid van dat tweede object gezien door de stilstaande waarnemer. Tot slot is c de snelheid van het licht in meters per seconde.

In het dagelijks leven tellen we snelheden simpelweg bij elkaar op W = V + U. Als een trein met 100 km/u rijdt en jij loopt met 5 km/u naar voren, dan loop je voor iemand langs het spoor met 105 km/u. Dit heet de klassieke (Galileïsche) mechanica.

Bij extreem hoge snelheden klopt dit volgens de speciale relativiteitstheorie niet meer. De speciale relativiteitstheorie stelt dat **niets sneller kan bewegen dan het licht**. De formule zorgt ervoor dat de totale snelheid W nooit groter wordt dan c.

Twee soorten tijddilatatie

We kennen twee hoofdsoorten tijddilatatie, snelheidstijddilatatie (speciale relativiteitstheorie) en gravitatietijddilatatie (algemene relativiteitstheorie). Snelheidstijddilatatie treedt op wanneer een object of persoon zich met een zeer hoge snelheid beweegt ten opzichte van een waarnemer. Voor de bewegende waarnemer verloopt de tijd langzamer. Gravitatietijddilatatie ontstaat door een verschil in zwaartekracht. Hoe sterker het zwaartekrachtsveld waarin een klok zich bevindt (bijvoorbeeld dichter bij een zwaar object zoals een planeet), hoe trager de tijd daar verloopt.

Snelheidstijddilatatie (speciale relativiteitstheorie) is goed in beeld gebracht met bovenstaande lichtklok. Dat deze niet bestaat blijkt uit een niet bestaande tweelingparadox. Met de vondst van het Higgsveld en dat het feit dat het foton géén koppelconstante aan dit Higgsveld heeft, geeft aan waarom de speciale relativiteitstheorie haar status als ‘fundamentele’ theorie verliest en dat snelheidsdilatatie dan ook niet bestaat.

We zien dat de speciale relativiteitstheorie zonder tijd haar status als ‘fundamentele’ theorie verliest en dat de algemene relativiteitstheorie haar status als ‘fundamentele’ theorie kan behouden, wanneer in het begrip ‘ruimtetijd’ de vierde dimensie ‘tijd’ wordt vervangen door een vierde dimensie ‘ruimte’.

Bij de algemene relativiteitstheorie resulteert het niet meer toepassen van relativistische tijd-ruimte-transformaties erin dat de zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd kán zijn, maar dat zwaartekracht een gekromd energieveld is, dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Dit betekent dat gravitatietijddilatatie niet kan ontstaan als gevolg van een gekromde ruimtetijd.

Bijlage 1 laat zien dat de tijd van de ene waarnemer anders kan verlopen dan de tijd van een andere waarnemer. Boven op een berg verloopt de (niet bestaande entiteit) atoomtijd sneller dan de (niet bestaande entiteit) 'atoomtijd' onder aan de berg. De enige verklaring hiervoor is dat dit verschil in atoomtijd ontstaat als gevolg van een gekromd energieveld rondom massa. De snelheid van het bewegen van atomen (bijvoorbeeld cesiumatomen) wordt beïnvloed door de veldsterkte van dit gekromd energieveld rondom massa. Des te sterker dit zwaartekrachtveld, des te langzamer verloopt de 'atoomtijd'.

Hieruit zou de conclusie getrokken kunnen worden dat we sneller dan het licht zouden kunnen gaan. We weten dat massaloze deeltjes zich anders gedragen dan deeltjes met massa (zie hoofdstuk 3). We weten echter nog niet welke snelheidslimiet er hangt aan deeltjes met massa.

De CERN deeltjesversnellers zoals de Large Hadron Collider tonen inderdaad aan dat deeltjes met massa de lichtsnelheid niet kunnen evenaren of overschrijden in een vacuüm. Naarmate een deeltje met massa versnelt, heeft het steeds meer kracht en energie nodig om nog sneller te gaan. Bij CERN slagen wetenschappers er wel in om protonen te versnellen tot een indrukwekkende 99,9999991% van de lichtsnelheid. Dit zou erop kunnen wijzen dat deeltjes met massa niet sneller kunnen gaan dan de snelheid van elektromagnetische straling.

Omdat de speciale relativiteitstheorie haar status als 'fundamentele' theorie heeft verloren moet er wel een kwantummechanische verklaring zijn voor het waargenomen effect in deeltjesversnellers. Hiervoor dient gekeken te worden naar het begrip 'kinetische energie'.

Fotonen hebben 100 procent kinetische energie omdat ze geen rustmassa hebben. Kijken we naar deeltjes met massa zoals protonen is kinetische energie de energie die een object heeft omdat het beweegt. Deze energie hangt af van de massa (m) en de snelheid (v) van het object ($E_k = mv^2$). Kinetische energie is geen labeltje of brandstoftankje *in* het proton, maar een eigenschap van zijn beweging ten opzichte van zijn omgeving.

Om een proton in beweging te krijgen duw je tegen een proton. De opgesloten energie binnenin de proton verzet zich tegen de verandering van snelheid, waardoor je arbeid moet verrichten en het hele proton als geheel meer kinetische energie krijgt. Hierbij is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de interne kinetische energie (het razende verkeer *binnen* in het proton) en de externe kinetische energie (de beweging van het proton *als geheel* door de ruimte).

Wanneer er een kracht wordt uitoefent over een bepaalde afstand, wordt er arbeid verricht (er wordt energie in het systeem gestopt). De externe kinetische energie neemt toe. De energie die via de duw wordt toegevoegd, wordt omgezet in voorwaartse snelheid van het proton als geheel. Het proton krijgt nu dus extra (externe) kinetische energie bovenop zijn rustmassa.

De speciale relativiteitstheorie geeft aan dat wanneer er zo hard tegen het proton duwt dat bijna de lichtsnelheid wordt bereikt, dan gaat de interne klok vanuit het perspectief van de stilstaande waarnemer trager lopen (tijddilatatie) en lijkt het proton in de bewegingsrichting platter te worden (lengtecontractie). Hoe dichter bij de lichtsnelheid, hoe meer energie je moet toevoegen voor een klein beetje extra snelheid.

Vanuit kwantumtheorie zien we dat de interne energie de externe versnelling afremt. De interne bewegingsenergie (samen met de gluonenenergie) vormt de rustmassa van het proton. Hoe meer interne bewegingsenergie er in het proton opgesloten zit, hoe groter die rustmassa is. Er moet veel meer energie van buitenaf worden toegevoegd om een hoge externe snelheid te bereiken dan wanneer het proton minder interne energie had gehad.

Een proton reageert direct op een kracht door te versnellen, waarbij de verrichte arbeid wordt opgeslagen als snelheid (kinetische energie) en een sterker omliggend elektromagnetisch veld. Omdat een proton positief geladen is, voelt het elektrische en magnetische velden. Wanneer een deeltje een ander positief deeltje nadert of een elektrisch veld aanzet, stoten de velden elkaar af via de uitwisseling van virtuele fotonen (de krachtdragers van elektromagnetisme). Dit foton draagt impuls (beweging) over op het proton, waardoor het proton direct van snelheid of richting verandert. Een bewegende lading wekt een magnetisch veld op. Hoe sneller het proton beweegt, hoe meer energie er ook in het elektromagnetische veld om het deeltje heen zit opgeslagen.

Volgens de wetten van de natuurkunde kan energie niet verdwijnen. De bron die duwt (bijvoorbeeld een elektrisch veld of een botsend deeltje) verliest precies de hoeveelheid energie en impuls die het proton wint. Het proton volgt simpelweg de weg van de minste weerstand onder invloed van de krachten die op dat moment op hem werken.

Voor het proton zelf verandert er niets aan de drie quarks of de gluonen (de lijmdeeltjes) die het bij elkaar houden, hoe snel het ook beweegt ten opzichte van een waarnemer. De rustmassa van het proton blijft altijd exact hetzelfde (ongeveer 938,27 MeV/c^2), ongeacht zijn snelheid.

Bij extreem hoge snelheden en botsingen zien detectoren een veel hogere dichtheid aan gluonen en virtuele quark-antiquark-paren. Dit komt echter niet doordat het proton van binnen verandert, maar doordat bij steeds hogere energieën hoogenergetische gluonen meer kans krijgen om zich op te splitsen in nieuwe gluonen met een lagere impuls, evenals in virtuele quark-antiquark-paren. Er zit echter een maximum aan die vorming van het aantal gluonen en virtuele quark-antiquark-paren bij hogere botsingssnelheden. Dit wordt in de deeltjesfysica gluon-verzadiging (de toestand) genoemd. Hoewel het aantal gluonen en virtuele quark-antiquark-paren bij steeds hogere botsingssnelheden aanvankelijk explosief groeit, bereikt het systeem uiteindelijk een dynamisch evenwicht.

Virtuele quarks zijn fermionen en vallen onder het uitsluitingsprincipe van Pauli. Ze kunnen niet zomaar dezelfde kwantumtoestand innemen, wat hun dichtheid van nature al sterker beperkt. Gluonen zijn bosonen, waardoor ze wel massaal in dezelfde toestand kunnen samenkomen. Hierdoor domineren zij de binnenkant van een deeltje bij extreme snelheden volledig.

Bij steeds hogere energieën krijgen hoogenergetische gluonen dus meer kans om zich op te splitsen in nieuwe gluonen met een lagere impuls, evenals in virtuele quark-antiquark-paren. Omdat gluonen zelf een 'kleurlading' dragen, oefenen ze onderling de sterke kernkracht uit. Zodra de dichtheid in een proton of atoomkern extreem hoog wordt, gaan deze gluonen overlappen en smelten ze weer samen tot één gluon (het proces). Op een bepaald punt gaat het samensmelten van gluonen net zo snel als het opsplitsen. De dichtheid voor gluonen van een bepaalde grootte vlakt dan af en kan niet meer verder stijgen. Dit geeft een mogelijke verklaring voor het niet verder kunnen versnellen van deeltjes in deeltjesversnellers tot vlak bij de lichtsnelheid.

Bijlage 3 Fuzzball

Zoals in hoofdstuk 6 beschreven introduceerde **Samir Dayal Mathur** in 2001 een theorie die uitgaat van kwantum-fuzzballs, een gigantische kluwen van trillende snaren (*snaartheorie*). Omdat achter de waarnemingshorizon van een zwart gat tijd en ruimte niet meer bestaan, wordt deze fuzzball vooralsnog als hypothetisch object binnen de snarentheorie gezien. Met de *Higgsveld equivalentietheorie* bevindt zich achter de waarnemingshorizon wel degelijk een bestaande ruimte, waardoor de fuzzball niet meer als hypothetisch, maar als werkelijk fysiek object kan worden beschouwd.

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven laat de data van LIGO van de eerste waargenomen zwaartekrachtsgolven van twee botsende zwarte gate met een zekerheid van 99,6% zien dat een zwart gat een fuzzball is. LIGO heeft daarmee met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid aangetoond dat een zwart gat een fuzzball is en géén singulariteit en dat zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd is, maar een gekromd energieveld (zwaartekrachtsveld). Overigens spreekt de natuurwetenschap en de deeltjesfysica pas van een wetenschappelijke ‘ontdekking’ bij een zekerheid van 99,99994%.

Volgens de huidige natuurwetenschap laten berekeningen zien dat deze fuzzball expandeert tot hij precies het volume vult binnen de klassieke waarnemingshorizon. Het fysieke oppervlak van de fuzzball bevindt zich dus op (of een fractie boven) de Schwarzschildstraal.

Omdat de fuzzball een tastbaar, compact object is (vergelijkbaar met een extreem dichte neutronenster), heeft het geen klassieke, lege waarnemingshorizon of singulariteit. Volgens de huidige natuurwetenschap definieert de Schwarzschildstraal hier simpelweg de fysieke buitenkant van de snaarkluwen. Doordat de fuzzball een oppervlak heeft ter grootte van de Schwarzschildstraal, kan informatie gecodeerd worden in de snaren en via straling ontsnappen. Dit lost de beroemde informatie paradox van zwarte gaten op.

In 2019 en 2022 zijn twee foto’s gemaakt met behulp van de Event Horizon Telescope van respectievelijk het zwart gat M87 en Sagittarius A*.

Het zwart gat M87 heeft een massa van ongeveer 6,5 ± 0,7 miljard zonnemassa's. De Schwarzschildstraal van een object met een massa van 6,5 ± 0,7 miljard keer die van onze zon bedraagt ongeveer 17,13 tot 20,97 miljard kilometer. Dit is een diameter van 34,26 tot 41,94 miljard kilometer. Wanneer we zien dat de diameter van ons zonnestelsel (tot en met Neptunus) ongeveer 9 miljard kilometer is, is het zwart gat van M87 in diameter dus zo’n 4 keer groter dan ons zonnestelsel.

De schaduw van het zwarte gat M87 zoals door de EHT gemeten (de donkere cirkel in het midden van de ring) is aanzienlijk groter dan de werkelijke waarnemingshorizon. De schaduw die we op de EHT-foto zien is met een diameter van 100 miljard kilometer ongeveer **2,6** keer zo groot als de waarnemingshorizon zelf. Dit enorme verschil komt door een optisch effect genaamd gravitatielenswerking. De omringende accretieschijf van heet gas strekt zich zelfs uit tot zo'n 3,7 biljoen kilometer in diameter (ongeveer 0,39 lichtjaar).

Het zwart gat Sagittarius A***** in het centrum van onze Melkweg heeft een massa van ongeveer 4**,**23 ± 0,07 miljoen zonsmassa's. De Schwarzschildstraal van een object met een massa van 4,23 ± 0,07 miljoen keer die van onze zon bedraagt ongeveer 12,26 tot 12,70 miljoen kilometer. Dit is een diameter van 24,52 tot 25,40 miljoen kilometer. Wanneer we zien dat de diameter van onze zon 1,39 miljoen kilometer is, is het zwart van Sagittarius A* in diameter dus ongeveer 18 keer groter dan onze zon.

De schaduw van het zwarte gat Sagittarius A* zoals door de EHT gemeten (de donkere cirkel in het midden van de ring) is aanzienlijk groter dan de werkelijke waarnemingshorizon. De schaduw die we op de EHT-foto zien is met een diameter van ruim 64 miljoen kilometer ongeveer **2,6** keer zo groot als de waarnemingshorizon zelf. Dit enorme verschil komt door een optisch effect genaamd gravitatielenswerking. De omringende accretieschijf van heet gas strekt zich uit tot wel honderden miljarden kilometer.

Beide foto's van het zwart gat van M87 en Sagittarius A* laten dus onvermijdelijk zien dat er informatie (hoeveel massa c.q. energie er in het zwart gat zit) vanuit het zwarte gat afgegeven wordt aan de waarnemingshorizon om te weten hoe groot dit waarnemingshorizon moet zijn. Veel meer bewijs dat er géén singulariteit in het zwart gat zit, maar een echt fysiek object zullen we voorlopig niet krijgen. Dit is ook bewijs dat in het binnenste van een zwart gat natuurwetten nog wel degelijk bestaan.

De beschrijving van de algemene relativiteitstheorie met betrekking tot gevallen met bijna onmetelijke energie (zwarte gaten) kan dan ook niet juist zijn. Hier neemt de kwantumtheorie het over van de algemene relativiteitstheorie.

De speciale relativiteitstheorie geeft aan dat op en achter de waarnemingshorizon de tijd stil komt te staan en tijd en ruimte achter de waarnemingshorizon niet meer kan bestaan. Beide foto's van het zwart gat van M87 en Sagittarius A* laten dus onverbiddelijk zien dat ruimtetijd niet bestaat en zwaartekracht géén gekromde ruimtetijd kán zijn. Zoals beschreven in hoofdstuk 6 is zwaartekracht dan ook niets anders dan een gekromd energieveld, dat ontstaat als direct bijproduct van het Higgsmechanisme (higgsbosonen geven massa aan elementaire deeltjes). Dit laat ook onverbiddelijk zien dat de uitkomst van het Michelson en Morley experiment niet verklaard wordt door het toepassen van relativistische tijd-ruimte-transformaties, maar verklaard wordt doordat het foton géén koppelconstante bezit met het Higgsveld.

Dit zwaartekrachtsenergieveld perst atomen, neutronen en quarks zo hard samen dat ze uiteenvallen in hun meest fundamentele bouwstenen: microscopisch kleine, trillende snaren. Normaal gesproken zijn deze snaren microscopisch klein omdat hun interne spanning heel hoog is. Maar wanneer een enorme hoeveelheid snaren door de zwaartekracht op één hoop wordt gedreven, treedt er een kwantumeffect op (*fractionation*). De snaren smelten samen tot langere snaren. Hoe langer een snaar wordt, hoe lager zijn spanning en hoe makkelijker hij uitdijt. In plaats van dat de zwaartekracht alles naar één oneindig klein punt drukt (algemene relativiteitstheorie), "pluizen" de snaren juist op. Ze vullen de gehele ruimte op tot aan de rand van wat we normaal de gebeurtenishorizon (*event horizon*) noemen. Het resultaat is een compacte, massieve kluwen van snaren: een fuzzball.

Volgens de algemene relativiteitstheorie is een waarnemingshorizon geen fysiek oppervlak zoals een harde korst of een glanzende bol. In plaats daarvan is het een wiskundige en gravitationele grens in de ruimtetijd rondom een zwart gat. Als je er puur theoretisch naar kijkt, is het de grens waar de ontsnappingssnelheid gelijk is aan de lichtsnelheid. Omdat niets sneller kan dan het licht, kan er van binnen deze grens geen informatie of licht naar buiten ontsnappen.

Een fuzzball is een massief, uiterst dicht en compact object dat volledig gevuld is met snaren. Zou je een fuzzball kunnen zien (wat niet kan omdat fotonen direct onderdeel worden van de fuzzball), zou het eruit zien als het turbulente oppervlakte van een ster. Zoals in hoofdstuk 6 beschreven lost een fuzzball de informatie-paradox en de firewall-paradox op.

Woord van dank

Graag wil ik een woord van dank uitbrengen aan Dr. Frank J. van Steenwijk (docent bij de Faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen aan de Rijksuniversiteit Groningen) voor het mogen volgen van zijn hoorcolleges over de speciale relativiteitstheorie. Zijn hoorcolleges hebben mij laten inzien dat de redenering die tot lengtecontractie en tijddilatatie leiden achterhaald zijn.

Ook wil ik prof. dr. Erik Verlinde, prof. dr. Henny Lamers, prof. dr. Dennis Dieks en prof. dr. Gerard 't Hooft bedanken voor hun inbreng. In zijn mail van 5 maart 2017 wist de heer Verlinde van de Universiteit van Amsterdam mij er van te overtuigen dat wat Einstein bedacht heeft begin vorige eeuw uitstekend past in de denkbeelden van die tijd, de tijd waarin we nog niet wisten van het bestaan van het Higgsveld. Via een tweetal mails op 31 mei 2021 en 7 juni 2021 hebben de heren Lamers en Dieks (beide van de Universiteit van Utrecht) mij op het spoor gezet dat tijd géén entiteit is. Tot slot kreeg ik op 8 oktober 2022 een mail van de heer 't Hooft van de Universiteit van Utrecht (hij kreeg in 1999 de Nobelprijs voor de natuurkunde) waarin hij mij op het spoor van het scalair Higgsveld heeft gezet.

Ik ben mijn broer Bert Lahuis dankbaar, die mij aanmoedigde door te gaan met mijn zoektocht, alsmede mijn dochter Miranda Lahuis, die mijn website heeft gebouwd en mij als afgestudeerd filosoof op filosofisch vlak richting heeft gegeven samen met haar partner Emma Weessies.

Henk Lahuis

Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie. Alle informatie in dit document mag worden gedeeld, gekopieerd, verspreid en aangepast, zolang de oorspronkelijke maker Henk Lahuis op de juiste manier wordt erkend.