

De Kwantumvelden.

Sessie nr 4 van 25 maart 2023 – Nederlandse vertaling -Origineel Engels.

Plaats : Mezza Verde in Belize

Commentaar :

Dit is de transcriptie en vertaling van de video van David Tong die wordt genoemd in sessie nr. 3 – 2023- Het is onze plicht om te weten - Deel 1 om u te helpen beter te begrijpen wat volgt in delen 2 tot 4. Het zal uw visie over de schepping en waar ons universum van gemaakt is volledig veranderen.

Wivine.

De echte bouwstenen van het universum.

David Tong – 15 februari 2017.

[\(4456\) Quantum Fields: The Real Building Blocks of the Universe - with David Tong - YouTube](#)



Ik zou vanavond met u willen spreken over een van de grote vragen van de wetenschap. Dit is een vraag die minstens 2.500 jaar teruggaat tot de oude Grieken. En het is een vraag die de afgelopen 200 jaar vele malen in deze kamer is besproken, omdat het een belangrijke vraag is. En ik vind het belangrijk dat we ze terug bekijken. De vraag is simpelweg deze:

Waar zijn we van gemaakt ?

Wat zijn de fundamentele bouwstenen van de natuur waaruit u en ik en al de rest in het universum zijn opgebouwd?

Dit is het verhaal dat ik u wil vertellen. Dus wat ik zou willen doen, is proberen u enig inzicht te geven in ons huidige begrip. Ik zou ook willen proberen u een idee te geven van wat we in de toekomst hopen te doen, de vooruitgang die we de komende jaren en decennia kunnen hopen te boeken. We gaan in dit gesprek nogal wat terrein bestrijken. Ik moet u nu waarschuwen, en niet in het minst omdat ik letterlijk alles in het universum zal bespreken.

We gaan het onder andere hebben over wat er gebeurt op het niveau van de krachtigste deeltjesversneller ter wereld. Het is een machine genaamd de **Large Hadron Collider**, of kortweg de **LHC**. In dit gesprek komt het veel naar voren. Het is een machine die ondergronds is gestationeerd in een plaats genaamd CERN, net buiten Genève. We zullen het ook hebben over experimenten van de afgelopen jaren die terugkijken in de tijd naar de oerknal, waardoor we kunnen begrijpen wat er gebeurde in de eerste fracties van een seconde nadat de tijd zelf begon te bestaan. En bovendien wil ik u ook een idee geven van de theoretische [abstracte](#) ideeën, en zelfs een beetje gevoel voor wiskunde, die ten grondslag liggen aan ons huidige begrip van het universum.

Ik ben een theoretisch fysicus. Wat ik doe is vergelijkingen bestuderen. Ik probeer de vergelijkingen te begrijpen die de wereld waarin we leven beheersen. En dus wil ik u een idee geven van wat het is. Op een gegeven moment... ik moet u waarschuwen, ga ik u zelfs een wiskundige vergelijking laten zien. Weet dat u hiervoor een opleiding kunt volgen.

Er is regel nummer één voor een uiteenzetting. Regel nummer één is om nooit uw wiskundige vergelijkingen aan het publiek te laten zien. Als u ze vergelijkingen laat zien, maakt u ze alleen maar bang. Op een bepaald moment in deze conferentie zullen jullie allemaal doodsbang zijn, dus wees

voorbereid.

Weet dat er een traditionele manier is om dit soort discussies te beginnen. De traditionele manier is om zeer gecultiveerd te doen en te praten over wat Democritus en Lucretius 2.500 jaar geleden zeiden en de ideeën die de oude Grieken hadden over **atomen**.

Maar zo wil ik niet beginnen.

We hebben een lange weg afgelegd in 2.500 jaar en weten dat er betere plaatsen zijn om een wetenschappelijke conferentie te lanceren.

Dus het eerste moderne beeld dat we hadden van waar het universum van gemaakt is, van alles waar we van gemaakt zijn, is dit. Ik hoop dat dit jullie allemaal bekend voorkomt?

Dat is

het periodiek systeem der elementen.

IUPAC Periodic Table of the Elements

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|--|--|--|--|---|--|--|---|--|---|--|--|
| 1 H hydrogen <small>[1.007, 1.008]</small> | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He helium <small>4.003</small> |
| 3 Li lithium <small>[6.938, 6.997]</small> | 4 Be beryllium <small>9.012</small> | | | | | | | | | | | 5 B boron <small>[10.80, 10.83]</small> | 6 C carbon <small>[12.00, 12.02]</small> | 7 N nitrogen <small>[14.00, 14.01]</small> | 8 O oxygen <small>[15.99, 16.00]</small> | 9 F fluorine <small>18.99</small> | 10 Ne neon <small>20.18</small> |
| 11 Na sodium <small>22.99</small> | 12 Mg magnesium <small>24.30, 24.31</small> | | | | | | | | | | | 13 Al aluminium <small>26.98</small> | 14 Si silicon <small>[28.08, 28.09]</small> | 15 P phosphorus <small>30.97</small> | 16 S sulfur <small>[32.05, 32.32]</small> | 17 Cl chlorine <small>[35.44, 35.46]</small> | 18 Ar argon <small>39.95</small> |
| 19 K potassium <small>39.10</small> | 20 Ca calcium <small>40.08</small> | 21 Sc scandium <small>44.96</small> | 22 Ti titanium <small>47.87</small> | 23 V vanadium <small>50.94</small> | 24 Cr chromium <small>52.00</small> | 25 Mn manganese <small>54.94</small> | 26 Fe iron <small>55.85</small> | 27 Co cobalt <small>58.93</small> | 28 Ni nickel <small>58.69</small> | 29 Cu copper <small>63.55</small> | 30 Zn zinc <small>65.38(2)</small> | 31 Ga gallium <small>69.72</small> | 32 Ge germanium <small>72.63</small> | 33 As arsenic <small>74.92</small> | 34 Se selenium <small>78.97</small> | 35 Br bromine <small>[79.90, 79.91]</small> | 36 Kr krypton <small>83.80</small> |
| 37 Rb rubidium <small>85.47</small> | 38 Sr strontium <small>87.62</small> | 39 Y yttrium <small>88.91</small> | 40 Zr zirconium <small>91.22</small> | 41 Nb niobium <small>92.91</small> | 42 Mo molybdenum <small>95.94</small> | 43 Tc technetium | 44 Ru ruthenium <small>101.1</small> | 45 Rh rhodium <small>102.9</small> | 46 Pd palladium <small>106.4</small> | 47 Ag silver <small>107.9</small> | 48 Cd cadmium <small>112.4</small> | 49 In indium <small>114.8</small> | 50 Sn tin <small>118.7</small> | 51 Sb antimony <small>121.8</small> | 52 Te tellurium <small>127.6</small> | 53 I iodine <small>126.9</small> | 54 Xe xenon <small>131.3</small> |
| 55 Cs caesium <small>132.9</small> | 56 Ba barium <small>137.3</small> | 57-71 Lanthanoids | 72 Hf hafnium <small>178.5</small> | 73 Ta tantalum <small>180.9</small> | 74 W tungsten <small>183.8</small> | 75 Re rhenium <small>186.2</small> | 76 Os osmium <small>192.2</small> | 77 Ir iridium <small>192.2</small> | 78 Pt platinum <small>195.1</small> | 79 Au gold <small>197.0</small> | 80 Hg mercury <small>200.6</small> | 81 Tl thallium <small>[204.3, 204.4]</small> | 82 Pb lead <small>207.2</small> | 83 Bi bismuth <small>208.9</small> | 84 Po polonium | 85 At astatine | 86 Rn radon |
| 87 Fr francium | 88 Ra radium | 89-103 actinoids | 104 Rf rutherfordium | 105 Db dubnium | 106 Sg seaborgium | 107 Bh bohrium | 108 Hs hassium | 109 Mt meitnerium | 110 Ds darmstadtium | 111 Rg roentgenium | 112 Cn copernicium | 113 Uut ununtrium | 114 F1 flerovium | 115 Uup ununpentium | 116 Lv livermorium | 117 Uus ununseptium | 118 Uuo ununoctium |



| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|--|-------------------------------|---|---|---|--|---|--|---|--|--|---|
| 57 La lanthanum <small>138.9</small> | 58 Ce cerium <small>140.1</small> | 59 Pr praseodymium <small>140.9</small> | 60 Nd neodymium <small>144.2</small> | 61 Pm promethium | 62 Sm samarium <small>150.4</small> | 63 Eu europium <small>152.0</small> | 64 Gd gadolinium <small>157.3</small> | 65 Tb terbium <small>158.9</small> | 66 Dy dysprosium <small>162.5</small> | 67 Ho holmium <small>164.9</small> | 68 Er erbium <small>167.3</small> | 69 Tm thulium <small>168.9</small> | 70 Yb ytterbium <small>173.0</small> | 71 Lu lutetium <small>175.0</small> |
| 89 Ac actinium | 90 Th thorium <small>232.0</small> | 91 Pa protactinium <small>231.0</small> | 92 U uranium <small>238.0</small> | 93 Np neptunium | 94 Pu plutonium | 95 Am americium | 96 Cm curium | 97 Bk berkelium | 98 Cf californium | 99 Es einsteinium | 100 Fm fermium | 101 Md mendelevium | 102 No nobelium | 103 Lr lawrencium |

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 8 January 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Het is een van de meest iconische beelden in de hele wetenschap. Wat we hier hebben zijn 120 verschillende elementen. Ik moet erop wijzen dat niet minder dan 10 van hen werden ontdekt hier in dit gebouw (in Cambridge). Zij vormden, althans in de 19e eeuw, alles wat in de natuur bestond.

Het is dus zeker waar dat elk materiaal dat u krijgt, men in zijn componenten kan destilleren, en u zult zien dat al die componenten zijn samengesteld uit een van die 120 elementen.

Het is dan ook een mooi wetenschappelijk moment. Dit is echt een van de triomfen van de wetenschap. Het is ook, moet ik zeggen, de reden waarom ik stopte met scheikunde op school. Want als je een chemicus bent, is dat eigenlijk zo goed als maar kan. Weet je, om eerlijk te zijn, het is een beetje een puinhoop. Alles in het universum is links gerangschikt in dingen die ontploffen als je ze in water stopt door dingen, rechts gerangschikt die, als we eerlijk zijn, helemaal niet veel doen.

Men organiseert alles in deze stomme vormen. Het lijkt een beetje op Australië. Er is een grote dip aan de bovenkant, en dan zijn er deze twee stroken met items die vanonder geplaatst zijn, omdat er geen ruimte voor was in het midden waar ze horen. Weet u, ik weet niet hoe het met u zit, als mij was gevraagd om een fundamentele classificatie te bedenken van alles in het universum, dan zou ik daar niet voor gekozen hebben.

Zijn er chemici in het publiek? [GELACH] Ik heb medelijden met u.

Weet dat ik niet de enige ben die dit denkt. Niet alleen ik vind dit een stomme manier om de natuur te organiseren. De natuur zelf vindt dit een stomme manier om de natuur te organiseren. Natuurlijk weten we dat dit niet de basis is - dat het niet het einde van het verhaal is. Dat het niet de *'basisbouwstenen'* zijn.

De eerste persoon die beseftte dat er iets diepers was dan dat, was een natuurkundige uit Cambridge, JJ Thomson genaamd. Dus aan het einde van de 19e eeuw ontdekte JJ Thomson een deeltje dat kleiner was dan een atoom dat we nu het **elektron** noemen. Hij kondigde dat aan in 1897 in deze zaal -- in feite in dezelfde reeks lezingen -- voor een verbijsterd publiek, een publiek dat zo verbaasd was dat minstens de helft van hen niet geloofde wat hij zei. Er was een zeer vooraanstaande wetenschapper die JJ Thomson vertelde dat hij dacht dat het allemaal bedrog was, dat JJ Thomson hen voor de gek had

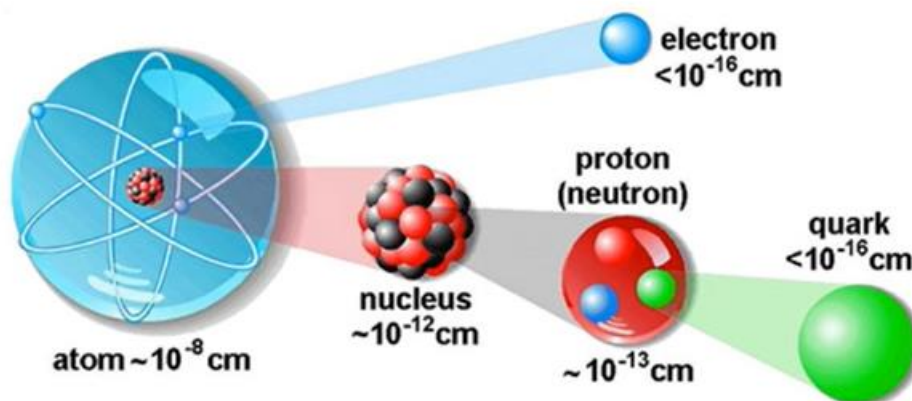
gehouden. Maar het is natuurlijk geen hoax. Omdat dit niet de fundamentele bouwstenen van de natuur zijn.

En minder dan 15 jaar na de ontdekking van JJ Thomson had zijn opvolger in Cambridge, een man genaamd Ernest Rutherford, uitgezocht waar die atomen precies van gemaakt waren.

En hier is het beeld dat Rutherford zich voorstelde.

Binnen het atoom.

Inside the atom



Dus nu weten we dat elk van deze elementen is opgebouwd uit

- een **nucleus** (kern), die klein is. De metafoor die Rutherford zelf gebruikte, was dat het als een vlieg in het midden van een kathedraal was.

Dan in vrij vage banen rond die kern draaien dan

- de **elektronen**, die op de een of andere manier heel weinig van de rest van de ruimte vullen.

Vervolgens hebben we geleerd dat de **nucleus** ook niet fundamenteel is.

De **nucleus** bevat kleinere deeltjes. Dit zijn deeltjes die we

- **protonen** en **neutronen** noemen.

In de jaren zeventig leerden we dat protonen en neutronen evenmin fundamenteel zijn.

In de jaren zeventig leerden we dat in elke proton en neutron **drie kleinere deeltjes** zitten die we:

-**Quarks** noemen.

Er zijn twee verschillende soorten quarks.

Ik denk dat natuurkundigen in de jaren zeventig geen klassieke Griekse opleiding hadden genoten en geen mooie namen meer konden bedenken.

We noemden deze quarks daarom:

- **up-quark** of de U-quark

- **down-quark**.

Zonder geldige reden. Het is niet zo dat de *up-quark* hoger is dan de *down-quark*. Het is niet alsof het naar boven wijst.

Zonder goede reden. We hebben dus de 'quark-up' en de 'quark-down'.

Het **proton** is opgebouwd uit

- 2 quark-up

- 1 quark-down.

Het **neutron** is opgebouwd uit

- 2 quark-down

- 1 quark-up.

Dit zijn de fundamentele bouwstenen van de natuur, voor zover wij weten. We hebben nog nooit iets ontdekt dat kleiner is dan het elektron, en we hebben nog nooit iets ontdekt dat kleiner is dan quarks.

We hebben dus **drie deeltjes waarvan alles wat we kennen is gemaakt**. En het is de moeite waard om erop te wijzen, want het is behoorlijk

verbazingwekkend.

Wij vinden het een beetje vanzelfsprekend. We leren het op school. We denken er niet eens diep over na.

Alles wat we in de wereld zien, alle diversiteit van de natuurlijke wereld, u, ik, alles om ons heen, [zijn precies diezelfde drie deeltjes met iets verschillende herschikkingen, die keer op keer worden herhaald](#). Het is een ongelooflijke les die geleerd moet worden over hoe de wereld in elkaar zit. Dus dat is wat we hebben.

We hebben één elektron en twee quarks.

Dit zijn wel niet de fundamentele bouwstenen waar de Grieken aan dachten, en het zijn zeker niet de fundamentele bouwstenen waar de Victorianen aan dachten.

Hoewel de geest van het probleem niet echt is veranderd.

De geest is precies wat Democritus 2.500 jaar geleden zei: dat ze de LEGO-blokken zijn waaruit alles in de wereld is opgebouwd. Deze LEGO-blokken zijn deeltjes, en [deze deeltjes zijn het elektron en de twee quarks](#).

Het is een heel mooi beeld. Het is een heel geruststellend beeld. Dit is het beeld dat kinderen op school leren. Dit is het beeld dat we zelfs aan niet-gegradueerde studenten leren.

Maar daar is een probleem mee. Het probleem is dat het een leugen is. Het is een leugentje om bestwil. Het is een leugentje om bestwil dat we dit aan onze kinderen vertellen, omdat we ze niet te snel willen blootstellen aan de harde, lelijke waarheid. Het is gemakkelijker te leren als je gelooft dat deze deeltjes de fundamentele bouwstenen van het universum zijn.

Maar dat is gewoon niet waar.

De beste theorieën die we in de fysica hebben, ondersteunen het elektronendeeltje en de twee quarkdeeltjes niet. In feite zijn de beste theorieën die we in de fysica hebben helemaal niet afhankelijk van deeltjes.

De beste theorieën die we hebben vertellen ons dat de fundamentele bouwstenen van de natuur geen deeltjes zijn, maar iets veel vager en abstracter.

De fundamentele bouwstenen van de natuur zijn vloeibare substanties die zich door het universum verspreiden en op vreemde en interessante manieren rimpelen.

Dit is de fundamentele realiteit waarin we leven.

We hebben een naam voor die vloeibare stoffen.

We noemen ze **velden**.

Hierna een foto van een veld.

Fields



Dit is niet het soort veld dat natuurkundigen in gedachten hebben. Het is waar u aan denkt als men van een veld spreekt als u een boer of een normaal persoon bent. Als u fysicus bent, heb u een heel ander beeld in uw hoofd als u aan velden denkt.

Ik zal u de algemene definitie van een veld geven en daarna zullen we enkele voorbeelden bespreken zodat u er vertrouwd mee raakt.

De natuurkundige definitie van een **veld** is het volgende.

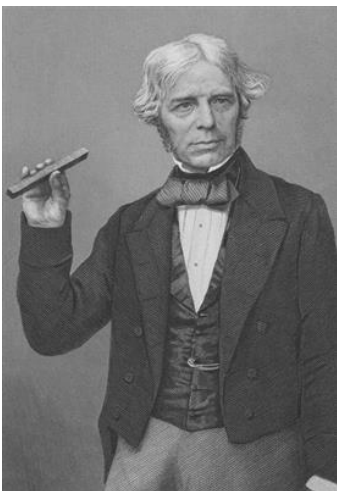
Het is iets dat overal in het universum voorkomt.

Het is iets dat op elk punt in de ruimte een bepaalde waarde krijgt. Bovendien kan deze waarde in de loop van de tijd veranderen.

Hou het beeld voor ogen dat **het vloeibaar is, het golft en zwiert door het universum.**

Dit is uiteraard geen nieuw idee. Het is geen idee dat we ons zojuist hebben voorgesteld. Het is een idee dat bijna 200 jaar teruggaat. En zoals zoveel andere dingen in de wetenschap, was het een idee dat in deze aula werd geboren. Omdat, zoals ik zeker weet dat velen van u weten, dit het huis is van Michael Faraday (University of Cambridge).

Michael Faraday begon in 1825 met dezelfde serie lezingen. Hij hield meer dan honderd van deze lezingen op vrijdagavonden, en de overgrote meerderheid daarvan ging over zijn eigen ontdekkingen, over de experimenten die hij deed met **elektriciteit** en **magnetisme**.



Faraday.

Dus deed hij vele, vele dingen op het gebied van elektriciteit en magnetisme gedurende vele decennia. En daarbij ontwikkelde hij een **'intuïtie'** over hoe elektrische en magnetische verschijnselen werken. En die intuïtie noemen we nu

het elektrische en magnetische veld.

Dus wat hij zich voorstelde, was dat deze onzichtbare dingen, de elektrische en magnetische velden, door de hele ruimte aaneengeregen waren.

Dit hebben we natuurlijk op school geleerd. Nogmaals, dit is iets dat we als vanzelfsprekend beschouwen omdat we het op jonge leeftijd hebben geleerd,

maar we beseffen niet hoe radicaal dit idee van Faraday is.

Ik wil erop wijzen dat het een van de meest revolutionaire *abstracte ideeën* in de geschiedenis van de wetenschap is dat deze elektrische en magnetische velden bestaan. Dus laat me gewoon... u wordt zelfs verondersteld hiervan een demonstratie te zijn. Ik ben niet alleen een theoretisch natuurkundige. Ik ben een zeer theoretische natuurkundige. Het is erg moeilijk voor mij om een experiment uit te voeren dat zal werken. Maar ik ga u gewoon iets tonen wat u allemaal al hebben gezien.



Dit zijn **magneten**. We speelden deze spelletjes allemaal toen we kinderen waren of toen we op school zaten. U pakt deze magneten en beweegt ze naar elkaar toe. En terwijl ze steeds dichterbij elkaar komen, voelt u een **kracht** die zich opbouwt, die duwt, de druk die duwt tussen die twee magneten. Het maakt niet uit hoe vaak u het doet, en het maakt niet uit hoeveel diploma's u in fysica hebt.

Het is een beetje magisch, nietwaar? Dit kent u allemaal. Er is iets speciaals aan dit vreemde gedoe dat men voelt tussen twee magneten.

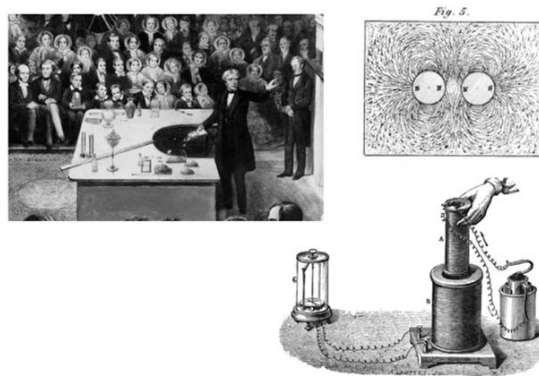
Dat was het genie van Faraday. Hij wilde duidelijk maken dat hoewel u er niets tussenin kunt zien, hoe goed u ook kijkt, de ruimte tussen deze magneten altijd leeg blijkt te zijn. Niettemin, zei hij, is er iets echts tussen de twee.

Er is iets echt en fysieks, dat onzichtbaar is, maar dat zich opbouwt, en verantwoordelijk is voor die kracht. Dus noemde hij ze **krachtlijnen**.

Wij noemen het nu **het magnetische veld**.

Hieronder ziet u een foto van Michael Faraday die een toespraak houdt achter dezelfde tafel waar ik nu sta. Met een tekening van een van zijn experimenten.

The electric and magnetic fields

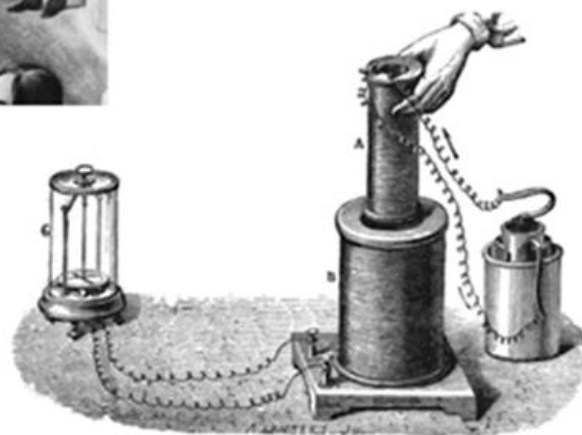
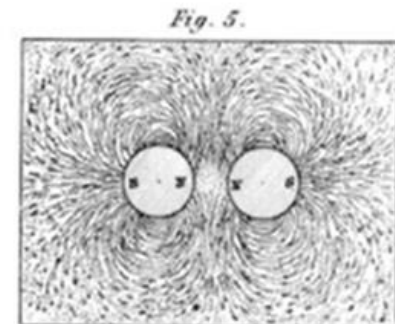


Ik werd er eerder op gewezen dat als u naar buiten gaat, er ginds een tapijt ligt. Het tapijt heeft dit patroon (zoals onder het scherm hieronder), waar dit beeld zich keer op keer herhaalt.



En onderaan het scherm zelf staat een van Michael Faraday's beroemdste demonstraties die hij hier deed. Ik ga u uitleggen wat Faraday deed. Het ding rechts onderaan is een kleine spoel met een hand erop (zie foto hier beneden).

The electric and magnetic fields



Dit is een batterij en de batterij laat een stroom rond deze spoel lopen. En hierdoor is er een magnetisch veld dat daarbinnen wordt geïnduceerd. Dit wordt een *solenoid* genoemd. En toen deed Faraday het volgende. Hij verplaatste deze kleine 'A-spoel' zo in deze grote 'B-spoel'. En er gebeurde iets wonderbaarlijks.

Wanneer u dit doet, resulteert dit in een [bewegend magnetisch veld](#).

De grote ontdekking van Faraday was **inductie**. Hierdoor ontstaat er een stroom in B, die dan aan dat uiteinde van de tafel een naald doet bewegen. Zo ontzettend simpel is het. U brengt een magnetisch veld in beweging, en het creëert een stroom die een naald verderop de tafel doet bewegen. Dit verbaasde het publiek enorm in de jaren 1800.

Omdat men hier iets deed dat de naald aan de andere kant van de tafel raakte,

zonder ooit de naald zelf aan te raken. Het was geweldig. Je zou iets kunnen laten bewegen zonder het ooit te benaderen, zonder het ooit aan te raken. We zijn tegenwoordig een beetje afgestompt. U kunt dezelfde ervaring doen. U kunt uw mobiele telefoon herstellen.

U kunt op een paar knoppen drukken. U kunt binnen enkele seconden iemand aan de andere kant van de wereld bellen.

Het is precies hetzelfde principe.

Het was de eerste keer dat **hij had laten zien dat het veld echt is.**

U kunt communiceren via het veld.

U kunt verre objecten beïnvloeden **met behulp van het veld** zonder ze ooit aan te raken.

Dit is de erfenis van Michael Faraday. Er zijn niet alleen deeltjes in de wereld. Er zijn andere, iets subtielere objecten **die velden worden genoemd en die door de ruimte zijn verspreid.**

Trouwens, als u ooit het genie van Michael Faraday echt wilt waarderen : hij gaf deze lezing in 1846. Hij gaf vele lezingen in 1846. Maar er is er één in het bijzonder waar hij 20 minuten te vroeg klaar was.

Hij had niets meer te zeggen, en toen heeft hij zich 20 minuten overgelaten aan nutteloze speculatie. Faraday suggereerde dat deze onzichtbare, elektrische en magnetische velden die hij postuleerde letterlijk het enige waren dat we ooit hebben gezien.

Hij suggereerde dat de **rimpelingen in de elektrische en magnetische velden** dat was wat we **licht** noemen.

Het duurde een periode van 50 jaar voordat mensen als Maxwell en Hertz bevestigden dat het dit is waar **licht** van gemaakt is. Maar het was het genie van Faraday die begreep dat er **golven** waren in het magnetisch-elektrische veld, en dat **deze golven het licht zijn** dat we om ons heen zien. Het is dan ook de erfenis van Faraday.

Maar het blijkt dat dit idee van **velden** veel belangrijker was dan Faraday beseftte. En het kostte ons meer dan 150 jaar om het belang van deze velden

in te zien. Dus wat er in die 150 jaar gebeurde, was een kleine revolutie in de wetenschap.

In de jaren 1920 realiseerden we ons dat de wereld heel, heel anders was dan de goede ideeën die Newton en Galileo ons eeuwen daarvoor hadden gegeven. Dus in de jaren 1920 realiseerden mensen als Heisenberg en Schrödinger zich dat de wereld op de kleinste, microscopisch schaal veel mysterieuzer en contra-intuïtiever is dan we ons hadden voorgesteld.

Dit is de theorie die we nu kennen als

Kwantummechanica.

Er is veel dat ik zou kunnen zeggen over **kwantummechanica**. Laat me u vertellen dat een van de sterke punten van de kwantummechanica is dat **energie niet continu is**.

De energie in de wereld is altijd gefragmenteerd in een klein discreet stukje. Dit is eigenlijk wat het woord **kwantum** betekent.

Kwantum betekent: discreet of forfaitaire.

Dus het echte plezier begint wanneer men de ideeën van de kwantummechanica, die zeggen dat dingen discreet moeten zijn, probeert te combineren met de ideeën van de velden van Faraday, die zeer continue, gladde objecten zijn, die golven en oscilleren in de ruimte.

De kwantumveldentheorie is:

het idee om te proberen deze twee theorieën met elkaar te combineren.

De implicatie van kwantumveldentheorie is dat:

Lichtgolven zijn opgebouwd uit deeltjes: **FOTONEN**.

De eerste implicatie is : wat gebeurt er met het elektrische en magnetische veld? Faraday heeft ons dat geleerd, en later Maxwell

- golven van het elektromagnetische veld noemen we licht. Maar als u de kwantummechanica hierop toepast, merkt u dat deze lichtgolven niet zo glad en continu zijn als ze lijken. Dus als u goed naar lichtgolven kijkt, zult u zien dat ze uit deeltjes bestaan.

- **Het elektronenveld.**

Het zijn kleine lichtdeeltjes en het zijn deeltjes die we **fotonen** noemen.

De magie van dit idee is dat hetzelfde principe van toepassing is op alle andere deeltjes in het universum.

Er is dus overal in deze kamer iets dat we het elektronenveld noemen. Het is als een vloeistof die deze kamer vult en in feite het hele universum vult. En de rimpelingen van deze vloeistof van elektronen, de rimpelingen van de golven van deze vloeistof, zijn gebonden in kleine energiebundels volgens de regels van de kwantummechanica. Deze **energiestralen** noemen we het deeltje: **elektron**.

We zijn allemaal met elkaar verbonden.

Alle elektronen in je lichaam zijn niet fundamenteel. Alle elektronen die in je lichaam bestaan, zijn golven van hetzelfde onderliggende veld. Dat betekent dat we allemaal met elkaar verbonden zijn. Net zoals de oceaangolven allemaal tot dezelfde onderliggende oceaan behoren, zijn de elektronen in jouw lichaam rimpelingen van hetzelfde veld als de elektronen in mijn lichaam. Er is meer dan dat.

- **Twee Quark-velden.**

Er zijn ook twee quarkvelden in deze kamer. En de rimpelingen van deze twee quarkvelden geven aanleiding tot wat we de **Quark up** en de **Quark down** noemen.

En hetzelfde geldt voor alle andere soorten deeltjes in het universum. Er zijn velden die aan alles ten grondslag liggen. En wat wij als deeltjes beschouwen, zijn helemaal geen deeltjes.

Deeltjes zijn golven van deze velden die verband houden met kleine energiebundels.

Dit is de erfenis van Faraday. Dit is waar het visioen van de velden van Faraday ons naartoe leidde. Er zijn geen deeltjes in de wereld.

De fundamentele bouwstenen van ons universum zijn die vloeibare substanties die we velden noemen.

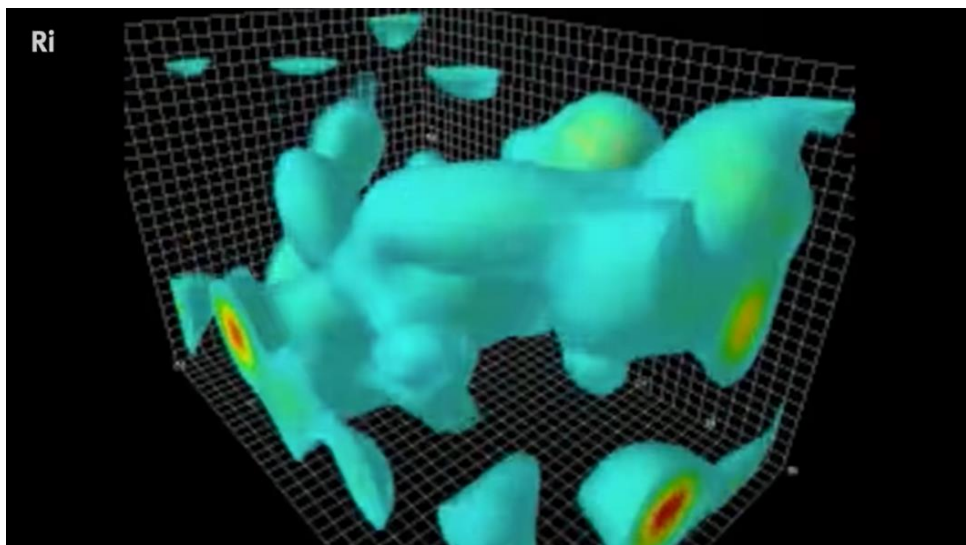
Dus wat ik in de rest van deze uiteenzetting wil doen, is u vertellen waar die visie ons naartoe brengt. Ik wil u vertellen wat het betekent dat we niet uit deeltjes bestaan.

We zijn gemaakt van velden.

Ik wil u vertellen wat we daarmee kunnen doen, en hoe we het universum om ons heen beter kunnen begrijpen.

Dus hier is het eerste. Pak een doos en haal alles uit die doos. Haal alle deeltjes uit de doos, alle atomen uit de doos. Wat je overhoudt is pure leegte.

En zo ziet de leegte eruit.



Dus wat u hierboven ziet is een computersimulatie die gebruik maakt van onze beste fysische theorie dat het **standaardmodel** is, dat ik later zal presenteren.

Het is een computersimulatie van absoluut **'niets'**. Het is een lege ruimte.

Een letterlijk lege ruimte met niets erin. Het is het eenvoudigste wat u zich kunt voorstellen in het universum.

U kunt zien dat een **lege ruimte** een interessante plek is. Het is niet saai en vervelend. Wat u hier ziet is dat het veld nog steeds bestaat, zelfs wanneer de deeltjes verwijderd zijn. Het veld is er.

Maar wat meer is, het veld wordt beheerst door de regels van de **kwantummechanica**. En er is een principe in de kwantummechanica, dat door Heisenbergs het **onzekerheidsprincipe** wordt genoemd
- **u mag niet stil blijven staan**. En daar moet het veld aan gehoorzamen.

Dus zelfs als er **niets** is, borrelt en fluctueert het veld constant op een zeer ingewikkelde manier. Dit zijn dingen die we **kwantumvacuümfluctuaties** noemen.

En zo ziet het '**NIETS**' eruit vanuit het standpunt van onze huidige natuurkundige theorieën. Het moet gezegd worden dat het een computersimulatie is. Het lijkt een beetje op een tekenfilm, maar het is eigenlijk een behoorlijk krachtige computersimulatie, en het heeft veel tijd gekost om het te maken.

Maar dit zijn niet alleen theorieën. Deze **kwantumfluctuaties** die in het "**puur vacuüm**" bestaan zijn dingen die we kunnen meten. Er is iets dat de *Casimir-kracht* wordt genoemd. De *Casimir-kracht* is een kracht tussen twee metalen platen die in wezen samenkomen omdat er meer van dit spul aan de buitenkant zit dan aan de binnenkant. Weet dat deze echt zijn. Dit zijn dingen die we kunnen meten. Ze gedragen zich precies zoals we voorspellen dat ze zouden doen op basis van onze theorieën.

Dit is nog steeds **niets**.

Dit brengt me bij de meer wiskundige kant van mijn lezing. Want daar zit een uitdaging in. Het is het eenvoudigste dat we ons in het hele universum kunnen voorstellen, en toch is het ingewikkeld. Het is verrassend ingewikkeld.

Makkelijker wordt het niet.

Weet, dat als u nu het 'niets' niet wilt begrijpen, maar slechts een enkel deeltje, dat dit veel ingewikkelder is dan u denkt. En als u wilt begrijpen hoe 10 tot de macht van 23 deeltjes die allen interessante dingen doen, dan is het echt veel ingewikkelder dan dat.

Er is dus een probleem -- mijn probleem, niet het uwe -- om tot deze basisbeschrijving van het universum te komen: het is moeilijk.

De wiskunde die we gebruiken om kwantumvelden te beschrijven, om alles waar we uit bestaan te beschrijven in termen van kwantumvelden, is aanzienlijk moeilijker dan de wiskunde die ontstaat in elk ander gebied van de natuurkunde of wetenschap. Het is echt moeilijk. Ik zal dit in een zeker perspectief plaatsen.

Er is een lijst met zes open problemen in de wiskunde.

Ze worden beschouwd als de zes moeilijkste problemen in de wiskunde. Het waren er zeven, maar een Russisch genie loste er een op. Er zijn er dus nog zes over. Je wint een miljoen dollar als je een van deze problemen kunt oplossen. Als je een beetje wiskunde kent, zijn het zaken als de Riemann-hypothese, of P versus NP.

Dit zijn notoir moeilijke problemen en dit hier is een van die zes problemen. Je wint een miljoen dollar als je dat kunt bedenken. Dus wat betekent dit? Dat betekent niet dat je een grote computer kunt bouwen en gewoon kunt demonstreren dat ze er zijn. Dit betekent: kun je vanuit de eerste principes de patronen begrijpen die in deze kwantumfluctuaties ontstaan door de vergelijkingen op te lossen?

Dit is een buitengewoon moeilijk probleem. Weet u, dat is wat ik doe. Ik ken geen enkele persoon ter wereld die daadwerkelijk aan dit probleem werkt. Het is zo moeilijk. We weten niet eens hoe we dit soort ideeën in de **kwantumveldentheorie** moeten begrijpen.

Dit thema dat een wiskundige uitdaging is, komt later in het gesprek aan de orde. Dus ik zou een paar minuten een kleine afleiding willen maken en u een idee geven van wat we wiskundig kunnen doen en wat we niet wiskundig kunnen doen. Gewoon om u een beetje te vertellen wat de stand van zaken is in termen van het begrijpen van deze theorieën, kwantumveldentheorieën

genaamd, die ten grondslag liggen aan ons universum.

Er zijn momenten waarop we heel goed begrijpen wat er met kwantumvelden gebeurt. En dat gebeurt eigenlijk als die golvingen heel stil en tam zijn, als ze niet wild en luid zijn. Deze zijn gewelddadig. Maar als ze veel rustiger zijn, als de leegte veel meer lijkt op een kalme vijver dan op een woedende storm, dan denken we echt dat we begrijpen wat we doen.

Om dit te illustreren, wil ik u volgend voorbeeld geven.

Dit getal "**g**" (zie onderstaande afbeelding) is dus een bepaalde eigenschap van het [elektronendeeltje](#).

Ik zal snel uitleggen wat het is.

Sometimes we understand it...

$$g = 2.0023193043617 \pm 3$$

$$g = 2.00231930436...$$

Het **elektron** is een deeltje en het blijkt dat het elektron **draait**. Het draait ongeveer zoals de banen van de aarde. En het heeft een rotatie-as.

En u kunt de as van deze rotatie veranderen. De manier om het te veranderen, is het door een magnetisch veld als dit te nemen. En in de aanwezigheid van een magnetisch veld zal het elektron gaan draaien. Het elektron blijft op dezelfde plek, maar draait wel rond. En dan zal de rotatie-as langzaam anders draaien. Dit wordt een *precessie* genoemd.

De precessiesnelheid van de rotatie-as wordt hier door dit getal gegeven. Het is over het algemeen niet het belangrijkste. Historisch gezien is het echter buitengewoon belangrijk geweest in de geschiedenis van de natuurkunde, omdat blijkt dat het een getal is dat men heel, heel precies kan meten door experimenten te doen. Dit aantal heeft voor ons als een soort proeftuin

gediend om te zien hoe goed we de theorieën begrijpen die ten grondslag liggen aan de natuur, en in het bijzonder de [kwantumveldentheorie](#). Dus laat me u vertellen waar u naar kijkt.

Het eerste getal is het resultaat van vele decennia van nauwgezette experimenten die heel, heel precies deze eigenschap van het elektron meten. Het wordt het [magnetische moment](#) genoemd, voor wat het waard is.

Het tweede getal is het resultaat van vele tientallen jaren van zeer martelende berekeningen met pen en papier gebeurden om te proberen te voorspellen op basis van de eerste principes van de kwantumveldentheorie, wat het [magnetische moment van elektronen](#) zou moeten zijn. Zoals u ziet, het is gewoon spectaculair. Er is nergens anders in de wetenschap iets vergelijkbaars met overeenstemming tussen theoretische berekening en experimentele metingen. Ik denk dat we tot 12 of 13 significante cijfers geraakt zijn.

Het is echt geweldig. Op elk ander wetenschapsgebied zou je een sprongetje maken van vreugde als je de eerste twee cijfers haalt. De economie, haalt dat zelfs niet. [GELACH] Alleen dat dit is waar we ons op een goede dag in de 'deeltjesfysica' zullen bevinden, waar we echt begrijpen wat we doen. Het is aanzienlijk beter dan in enig ander wetenschapsgebied –
!!12 significante cijfers!!

Maar dit heb ik u natuurlijk laten zien omdat het ons beste resultaat is. Er zijn veel andere resultaten die lang niet zo goed zijn. En de moeilijkheid komt wanneer deze [kwantumvacuümfluctuaties](#) wilder en sterker beginnen te worden.

Dus laat me u een voorbeeld geven. Het zou voor ons mogelijk moeten zijn om te gaan zitten en uit de eerste principes de [massa van het proton](#) te berekenen. We hebben de vergelijkingen.

Alles zou er moeten zijn. We moeten gewoon hard werken en erachter komen wat de massa van het proton is, gewoon door wat wiskunde te doen. Dat proberen we al zo'n 40 jaar. We kunnen het krijgen met een nauwkeurigheid van ongeveer 3%. Wat niet slecht is. We zijn 3% verwijderd van het doel.

Maar we zouden veel, veel beter moeten doen. We zouden die precisieniveaus wat verder moeten opdrijven. En de reden is heel simpel. We hebben de juiste vergelijking. We zijn er vrij zeker van dat we de juiste vergelijking kunnen oplossen. We zijn alleen niet slim genoeg om het op te lossen.

40 jaar, met de krachtigste computers ter wereld en heel veel slimme mensen. En dat hebben we nog altijd niet begrepen.

Er zijn andere situaties waarover ik u niet zal vertellen waar we niet eens van start geraken.

Er zijn situaties waarin we om nogal subtiele redenen geen computers kunnen gebruiken om ons te helpen, en waar we gewoon geen idee hebben van wat we doen. Het is dus een beetje een vreemde situatie.

We hebben deze theorieën in de fysica. Dit zijn de beste theorieën die we ooit hebben ontwikkeld, zoals u hier kunt zien. Maar tegelijkertijd zijn dit ook de theorieën die we het minst begrijpen en het is om vooruitgang te boeken dat we deze vreemde balans hebben tussen het vergroten van ons theoretisch begrip en het uitzoeken hoe we het kunnen toepassen op de experimenten die we doen. Nogmaals, dit is een thema waarop ik aan het einde van de conferentie zal terugkomen. Tot nu toe heb ik het een beetje in het algemeen gehad over waar we van gemaakt zijn.

En dat is de val-lijn voor halverwege het gesprek.

Jullie zijn allemaal gemaakt van [kwantumvelden](#) en ik begrijp ze niet.

Ik begrijp ze niet zo goed als ik denk dat ik zou moeten. Dus wat ik nu wil doen, is wat meer in detail treden. Ik wil u precies vertellen waar kwantumvelden van gemaakt zijn. Ik ga u zelfs precies vertellen welke kwantumvelden er in het universum bestaan.

Het goede nieuws is dat het er niet veel zijn. Dus ik ga ze gewoon allemaal voor u opnoemen. We zijn begonnen met een periodiek systeem.

Ziehier het nieuwe periodiek systeem.

Het is gemakkelijker en beter.

The new periodic table



Er zijn de **drie deeltjes** waaruit we allemaal zijn gemaakt:

- het **elektron en de twee quarks**:

- Quark up en de

- Quark down.

En zoals ik al zei, deeltjes zijn niet fundamenteel. Wat echt fundamenteel is, is het **veld** dat eraan ten grondslag ligt.

En dan blijkt dat er een **vierde deeltje** is waarover ik tot nu toe niet heb gesproken, genaamd:

- **neutrino**.

Het speelt zo geen rol in waar we van gemaakt zijn, maar het speelt een andere belangrijke rol elders in het universum. **Deze neutrino's zijn overal**. U hebt ze nooit opgemerkt, maar sinds ik aan deze lezing begon, zijn er ongeveer 10 tot de kracht 14 door het lichaam van ieder van u gestroomd. Evenveel van boven afkomstig uit de ruimte als komend van beneden, omdat ze via de aarde door het lichaam stromen en dan verder gaan. Ze zijn niet erg sociaal. Ze hebben geen interactie.

Dus daar gaat het allemaal om.

De vier deeltjes die de basis van ons universum vormen zijn:

- elektron

- Quark-up

- Quark down
- neutrino

Behalve dat er iets vreemds gebeurde. Om de een of andere reden die we helemaal niet begrijpen, koos de natuur ervoor om deze vier deeltjes te nemen en ze twee keer te reproduceren. We hebben daarom een lijst samengesteld van alle velden waaruit de deeltjes van ons universum bestaan. Dus waar kijken we hier naar?

Het nieuw periodiek systeem.

The new periodic table

| | | | |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| electron 1 | electron neutrino 10^{-6} | up quark 8 | down quark 4 |
| muon 200 | muon neutrino 10^{-6} | strange quark 200 | charm quark 2000 |
| tau 3000 | tau neutrino 10^{-6} | bottom quark 8000 | top quark 340,000 |

Het elektron (linksboven)

Er zijn **twee andere deeltjes zoals het elektron**, die zich precies hetzelfde gedragen als het elektron, behalve dat ze zwaarder zijn. Wij noemen ze

- **muon** met een massa van ongeveer 200 keer het elektron, en
- **tau**, die 3000 keer zwaarder is dan het elektron.

Waarom zijn ze daar?

We hebben geen idee. Het is een van de mysteries van het universum.

Er zijn ook nog **twee andere neutrino's**.

- **muon-neutrino**

- **tau-neutrino**

Er zijn dus in totaal **drie neutrino's**.

En de twee quarks die we in het begin kenden, worden nu vergezeld door nog

vier andere quarks die we noemen

- **quark strange**
- **quark charmed**

En tegen de tijd dat we hier aankwamen, hadden we echt geen inspiratie meer voor de volgende namen. Dus noemden we ze

- **quark bottom**
- **quark top.**

Toch blijf ik aandringen. We begrijpen heel, heel goed de dingen die in deze richting gaan.

We begrijpen waarom ze in groepjes van vier komen. We begrijpen waarom ze de eigenschappen hebben die ze hebben. We begrijpen helemaal niet waarom dit gebeurt. We weten niet waarom het er drie zijn in plaats van twee of 17. Het blijft een mysterie.

Maar dat is alles.

Het is alles wat er in het universum is.

Het enige waar u uit bestaat zijn die drie daarboven.

En alleen als u op weg bent naar meer exotische situaties, zoals de deeltjesversnellers, hebben we de anderen daar beneden nodig.

Alles wat we ooit hebben gezien, kan hiervan worden gemaakt. Van :

- **12 deeltjes** en
- **12 velden.**

Deze 12 velden staan met elkaar in wisselwerking, en ze werken samen via **vier verschillende krachten.**

Twee van hen zijn zeer bekend. Het zijn :

- 1)- de zwaartekracht**
- 2)- de elektromagnetische kracht.**

Maar er zijn ook nog twee andere krachten die alleen op de kleine schaal van een kern werken. Dus er is iets genaamd -

3)- de sterke kernkracht, die quarks bij elkaar houdt in protonen en neutronen.

4)- de zwakke kernkracht, die verantwoordelijk is voor radioactief verval en

onder andere voor het laten schijnen van de zon.

Nogmaals, elk van deze **4 fundamentele natuurkrachten** is geassocieerd met een 'veld'.

Faraday heeft ons verder gesproken over

- **elektromagnetisch veld**, maar er zijn velden die hiermee verband houden, zoals

- het Gluon veld
- het W-veld en
- Het Z-boson veld.

-Het zwaartekrachtveld:

Er is ook een veld dat verband houdt met de zwaartekracht. En dat was echt Einsteins grote inzicht in de wereld. Het veld geassocieerd met zwaartekracht blijkt te zijn

- **ruimte en tijd** zelf. Dus als u dit nog niet eerder hebt gehoord, weet dan dat dit 's werelds kortste inleiding tot de algemene relativiteitstheorie is. En verder zeg ik er niets over. Die laat ik u gewoon zelf ontdekken.

Dus hier is het universum waarin we leven:

- De velden van de materie : 12 velden die materie geven
- Kracht- velden : vier velden die de krachten zijn.

De wereld waarin we leven is een combinatie van **16 velden** die allemaal op interessante manieren met elkaar omgaan. Dus daar zou u aan moeten denken om een beeld te krijgen van wat het universum is.

Het universum is vol van deze velden, van deze vloeibare substanties.

Opmerkelijk : 12 velden van materie en vier krachten.

Wanneer een van de materievelden begint te oscilleren en rimpelen, bijvoorbeeld als het **elektronenveld** op en neer begint te rimpelen, want daar zijn elektronen in daardoor zal een van de andere velden gestart worden. Dit zal bijvoorbeeld het **elektromagnetische veld** activeren, dat dan op zijn beurt

zal oscilleren en rimpelen. Er zal **licht** zijn dat zal worden uitgestraald. Het gaat allemaal een beetje schommelen. Op een gegeven moment zal dit beginnen te **interageren met het quarkveld**, dat op zijn beurt zal oscilleren en rimpelen.

En het beeld dat we krijgen is deze harmonieuze dans tussen al deze velden, in elkaar grijpend, zwaaiend, heen en weer bewegend. Dit is het beeld dat we hebben van de fundamentele natuurwetten. We hebben er allemaal een theorie voor. Het is het toppunt van wetenschap.

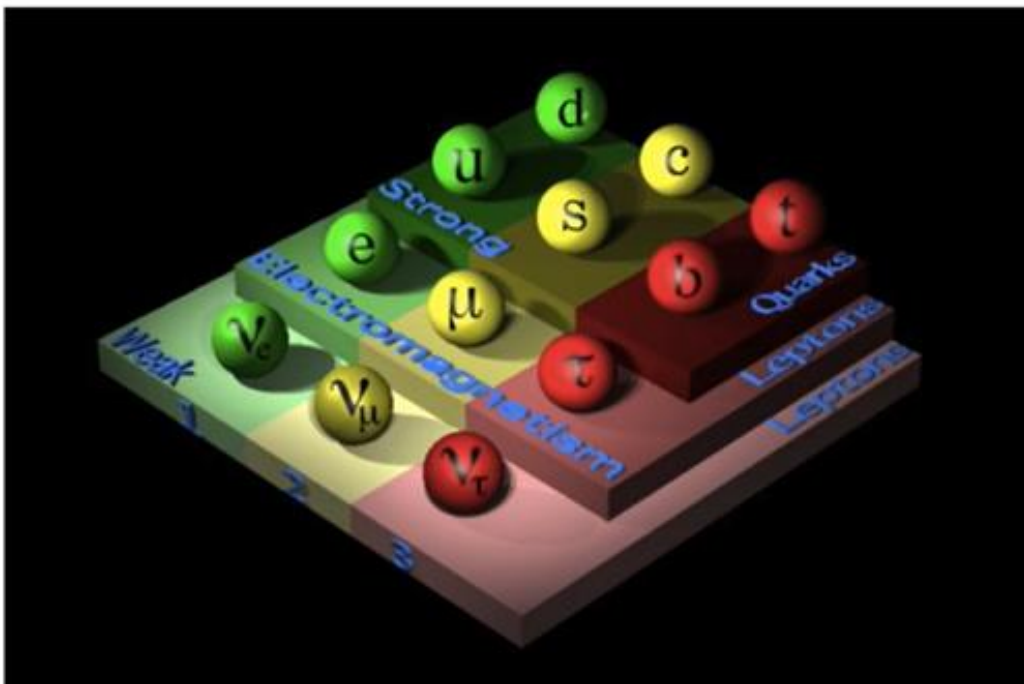
Het is de beste theorie die we ooit hebben bedacht. We hebben het echter de meest verbazingwekkend domme naam gegeven waar je ooit van hebt gehoord.

We noemen het "**Standaardmodel**". Als je de naam standaardmodel hoort, klinkt het al vervelend en saai.

Het zou eigenlijk vervangen moeten worden door « *De Grootste Theorie in de geschiedenis van de Menselijke Beschaving* ».

Het Standaard Model.

The standard model



Dit is wat we overwogen hebben.

Dus dat is het, behalve dat het niet helemaal dat is. Ik heb eigenlijk een veld weggelaten. Er is nog een ding dat we weten dat de afgelopen jaren behoorlijk beroemd is geworden. Het is een veld dat voor het eerst werd voorgesteld in de jaren 1960 door een Schotse natuurkundige genaamd Peter Higgs.

Tegen de jaren zeventig was het onderdeel geworden van hoe we het universum zien. Gedurende lange tijd hadden we echter geen direct experimenteel bewijs dat dit veld bestond en direct experimenteel bewijs betekent dat we dit Higgs-veld laten rimpelen om een deeltje te zien dat ermee geassocieerd is. Daar is verandering in gekomen op een beroemde wijze op 4 juli 2012 bij de **LHC** (*Large Hadron Collider gebouwd in Cern - Zwitserland - het is de grootste en meest energieke deeltjesversneller ter wereld.*)

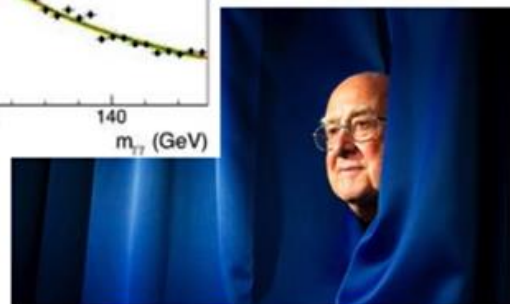
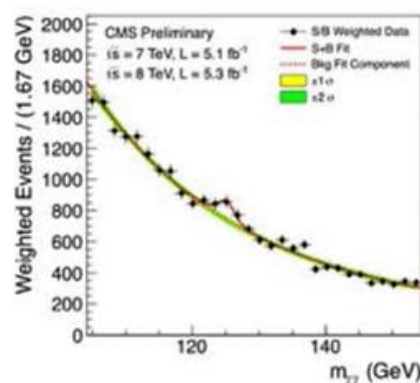
Het waren de twee LHC-experimenten die het ontdekten.

Ze zijn ongeveer zo groot als een kathedraal en zijn gevuld met elektronen.

Deze deeltjes worden "**Higgsboson**" of "**Higgsdeeltje**" genoemd.

Het Higgs- veld.

The Higgs field



The particle is the "Higgs boson". It is about 2.4×10^6 heavier than the electron

Dit zijn verbazingwekkende dingen.

- De afbeelding hierboven - linksboven heet Atlas.
- De andere hierboven - linksonder heet CMS.

Dit **Higgsdeeltje** houdt het niet lang vol. Het Higgsdeeltje duurt ongeveer 10 tot de min 22ste seconden. Dus het is niet zo dat u het kunt zien, er een foto van maken en het op Instagram plaatsen.

Het is wat subtieler. Dus hier zijn de gegevens, en deze kleine hobbel hier (*in de grafiek*) is hoe we wisten dat dit **Higgsdeeltje** bestond. Rechtsonder op de foto staat een foto van Peter Higgs.

Het was de laatste bouwsteen. Weet u, het was belangrijk. Het was echt een groot probleem.

Het was om twee redenen belangrijk.

1) De eerste is dat het verantwoordelijk is voor wat we "**massa**" noemen in het universum. Dus de eigenschappen van alle deeltjes, dingen zoals - **elektrische lading en massa** - zijn echt een statement over hoe hun velden interageren met andere velden.

Dus de eigenschap die we elektrische lading van een elektron noemen, is een uitspraak over hoe het elektrische veld interageert met het elektromagnetische veld.

En de eigenschap van zijn massa is de verklaring over hoe het interageert met het Higgs-veld. Het was dus echt nodig om dit te begrijpen, om de betekenis van massa in het universum te begrijpen. Dat was dus het grote probleem.

2) De andere reden dat dit een groot probleem was, is dat dit het laatste stukje van onze puzzel was. We hadden deze theorie die we het *standaardmodel* noemden. We hebben het al sinds de jaren 70. Dat was het laatste wat we nodig hadden om erachter te komen of deze theorie klopte. Wat verbazingwekkend is, is dat dit deeltje werd voorspeld in de jaren 1960. We hebben dus 50 jaar moeten wachten. We zijn er uiteindelijk in gelukt dankzij CERN. Het gedraagt zich precies zoals we hadden verwacht. Het gedraagt zich absoluut perfect zoals we voorspelden met behulp van deze theorieën.

Wat volgt, wordt het enge deel van onze uiteenzetting.

Ik vertelde u over deze theorie. En ik zwaaide met mijn handen alsof ik een veld was. Laat me u vertellen wat de theorie werkelijk is. Laat me u gewoon laten zien wat we doen.

Hier is de vergelijking van het standaardmodel van de fysica.

De Theorie van alles (tot nu toe)

The theory of everything (so far)

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Ik verwacht niet dat u het begrijpt, niet in de laatste plaats omdat er delen van deze vergelijking zijn *die niemand op de planeet begrijpt*.

Maar toch wil ik het u laten zien om de volgende reden.

Deze vergelijking voorspelt correct de uitkomst van elk experiment dat we in de wetenschap hebben gedaan. Alles zit in deze vergelijking. Dit is echt het toppunt van de reductionistische benadering van wetenschap. Alles is hier.

Ik geef toe dat dit niet de eenvoudigste vergelijking ter wereld is. Maar het is ook niet de meest ingewikkelde. Je kunt het op een t-shirt zetten. Als je naar CERN gaat, kun je zelfs een T-shirt kopen met deze vergelijking erop. Laat me u een idee geven van wat we voor ogen hebben.

1) Deel 1 van de mathematische vergelijking is geschreven door Albert Einstein en beschrijft de **zwaartekracht**.

Dit betekent dat als je dit hele kleine deel van de vergelijking zou kunnen oplossen, alleen deze **R**, u bijvoorbeeld zou kunnen voorspellen hoe snel een appel van een boom valt, of het feit dat de banen van de planeet rond de zon ellipsen vormen. Of u kunt voorspellen wat er gebeurt als twee enorme zwarte gaten botsen en een nieuw zwart gat vormen, waarbij zwaartekrachtgolven door het universum worden gestuurd. Of u kunt voorspellen hoe het hele universum uitdijt. Het komt allemaal neer op het oplossen van dit kleine deel van de vergelijking.

2) De volgende term in de vergelijking is geschreven door James Clerk Maxwell en vertelt je alles over **elektromagnetisme**.

Dus alle experimenten die Faraday zijn hele leven in dit gebouw deed -- in feite alle experimenten gedurende meerdere eeuwen, van Coulomb tot Faraday, tot Hertz tot de moderne ontwikkelingen van de lasers, -- zit in dit kleine deel van de vergelijking .

Er zit dus enige kracht in de volgende vergelijkingen.

3) Dit is de vergelijking die de **sterke kernkracht** en de **zwakke kernkracht** regelt.

Het is een vergelijking die voor het eerst werd opgeschreven door een Britse natuurkundige genaamd Paul Dirac. Het beschrijft het onderwerp.

Het beschrijft deze 12 deeltjes waaruit materie bestaat. Verrassend genoeg gehoorzaamt elk van hen precies dezelfde vergelijking.

4) Vervolgens hebben we de Peter Higgs-vergelijkingen. En dat is een vergelijking die u vertelt hoe materie interageert met het Higgs-deeltje.

Dus alles is hier, in deze vergelijking. Dit is echt een geweldige prestatie, maar het is ook de huidige limiet van onze kennis. We hebben nog nooit een experiment gehad dat niet door deze vergelijking kan worden verklaard. En we zijn er nooit achter gekomen hoe deze vergelijking stopt met werken.

Dus het is het beste wat we nu hebben.

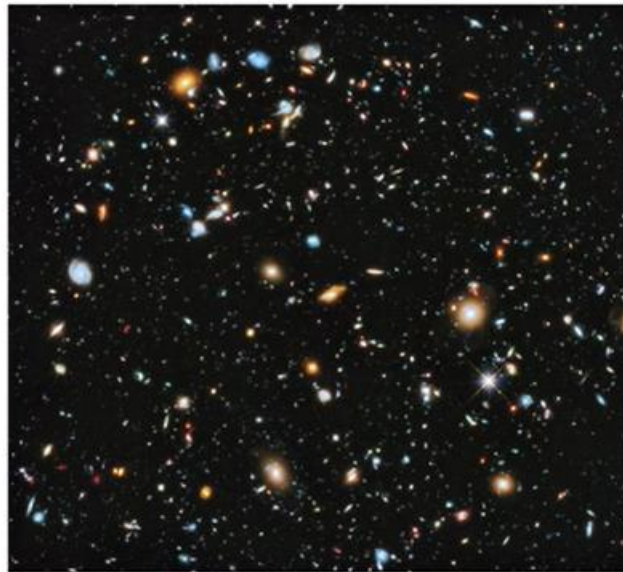
Donkere Materie en Donkere Energie.

Donker genoemd omdat het niet zichtbaar is met optische middelen.

We willen het echter beter doen, omdat we zeker weten dat er dingen zijn die hierdoor niet verklaard kunnen worden. En de reden dat we dit weten is dat hoewel het elke ervaring verklaart die we ooit hier op aarde hebben gehad, als we naar de hemel kijken zien we nog veel dingen die een mysterie blijven. Dus als we in de ruimte kijken, zijn daar bijvoorbeeld onzichtbare deeltjes.

In feite zijn er veel **meer onzichtbare deeltjes dan zichtbare deeltjes**. We noemen ze **donkere materie**.

There's stuff we're missing



Dark matter? Dark energy? Inflation?

We kunnen ze natuurlijk niet zien, omdat ze onzichtbaar zijn. Maar we kunnen hun effecten zien. We kunnen hun effecten zien in de manier waarop sterrenstelsels draaien of in de manier waarop ze "licht" rond sterrenstelsels buigen. Het is daar.

We weten niet wat het is. Er zijn nog meer mysterieuze dingen. Er is iets dat **donkere energie** wordt genoemd en dat zich door de ruimte verspreidt. Het is

ook een soort veld, hoewel we het niet begrijpen, dat ervoor zorgt dat alles in het universum al het andere afstoot.

Er zijn nog andere dingen.

We weten dat aan het begin van de eerste seconden, zelfs daarvoor, de eerste fracties van een seconde na de oerknal, het universum een fase van zeer snelle uitdijing doormaakte die we **inflatie** noemen.

We weten dat het is gebeurd, maar het kan niet worden verklaard door deze vergelijking die ik u net heb laten zien. Dus dat zijn het soort dingen dat we zullen moeten uitzoeken als we verder willen gaan en willen beslissen wat de volgende natuurwetten zijn die verder gaan dan het *standaardmodel*. Ik zou er uren over kunnen praten. Maar ik zal me alleen op het laatste concentreren.

Inflatie.

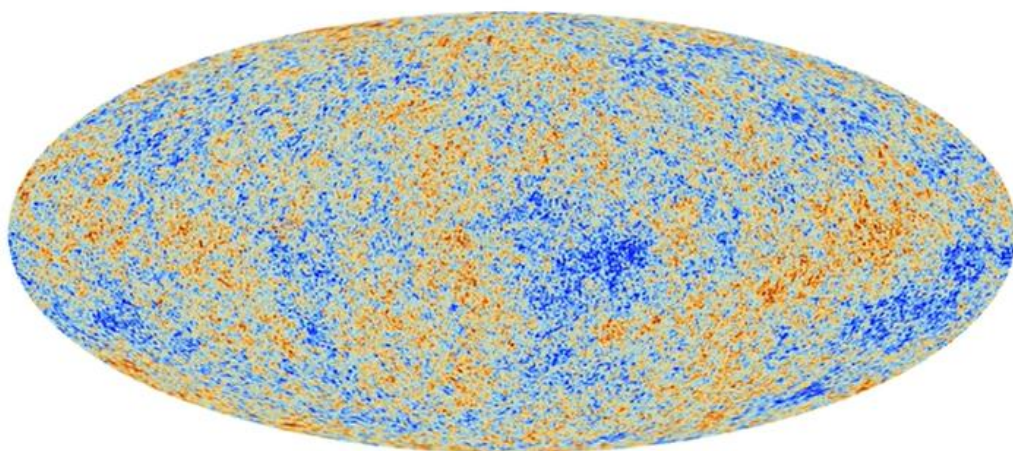
Ik ga u iets vertellen over 'inflatie'.

Het heelal is dus 8 miljard jaar oud. En dat begrijpen we heel goed -- maar we begrijpen helemaal niet hoe het begon. We begrijpen niet wat dit allemaal veroorzaakte op tijdstip 't' gelijk aan 0. Maar we begrijpen vrij goed wat er na de start gebeurde. En we weten in het bijzonder dat tijdens de eerste 380.000 jaar het universum gevuld was met een vuurbal. En dat weten we zeker, want we hebben de vuurbal gezien. We hebben het gezien en er zelfs een foto van gemaakt.

Het wordt ***kosmische microgolfachtergrond of CMB straling*** genoemd, maar een veel betere naam is de **vuurbal die het heelal vulde** toen het veel jonger was.

De vuurbal van de Big Bang.

The Fireball of the Big Bang



De vuurbal koelt af. Het licht stroomt al 13,8 miljard jaar door het universum en is te zien.

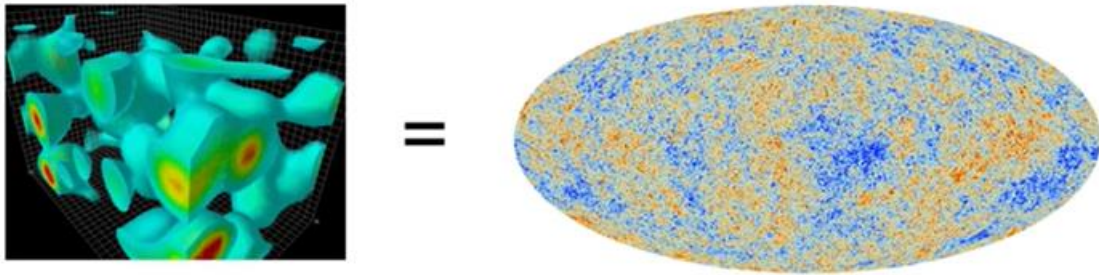
We kunnen er deze foto van maken. En we kunnen heel goed begrijpen wat er gaande was tijdens de eerste momenten van het universum. Zoals u kunt zien, lijkt het letterlijk op een vuurbal. Er zijn rode delen die warmer zijn. Er zijn blauwe delen die kouder zijn. En door deze *flikkering* te bestuderen die u in deze afbeelding kunt zien, krijgen we veel informatie over wat er 13,8 miljard jaar geleden gebeurde toen het universum een baby was. Een van de belangrijkste vragen die we willen stellen is :

wat veroorzaakte het flikkeren van de vuurbal?

En daar hebben wij een antwoord op. We hebben een antwoord, waarvan ik denk dat het een van de meest verbazingwekkende dingen in de hele wetenschap is. Het blijkt dat, hoewel de vuurbal 380.000 jaar heeft geduurd, de oorzaak van die *flikkering* niet is opgetreden tijdens het overgrote deel van die tijd. Wat er ook voor zorgde dat deze vuurbal *flikkerde*, het *gebeurde tijdens de eerste fracties van een seconde na de oerknal*.

Welk quantumveld zien we hier?

What quantum field are we seeing here?



En wat het was, was het volgende. Toen het heelal heel, heel jong was, kort na de oerknal, waren er **geen deeltjes**, maar wel:

- **kwantumvelden**, omdat kwantumvelden overal waren. En er was
- **kwantumvacuümfluctuaties**.

En wat er gebeurde, was dat het universum heel, heel snel uitdijde, en het ving deze kwantumfluctuaties op. Zo verspreidden de kwantumfluctuaties zich over de hele ruimte, waar ze dan halt hielden. En het zijn deze fluctuaties van het vacuüm die de rimpelingen zijn die je in de vuurbal ziet.

Het is dan ook een verbazingwekkend verhaal dat er 10 tot 30ste seconden na de oerknal **kwantumvacuümfluctuaties** plaatsvonden. Ze waren absoluut microscopisch klein. En nu zien we ze zich uitstrekken over het hele universum, 20 miljard lichtjaar aan de hemel. Dat is wat u hier ziet. Als u dat uitrekent, komt het precies overeen met wat men hier ziet. Dit is dus weer een van de grote triomfen van de **kwantumveldentheorie**.

Maar dat roept veel vragen op. Het belangrijkste is, **welk veld zien we hier?**

Wat is dit veld dat op de achtergrondstraling wordt afgedrukt? En het antwoord is dat we het niet weten. Het enige van de velden van het *standaardmodel* die dit zou kunnen zijn, is het Higgs-veld. Doch de meesten van ons denken dat

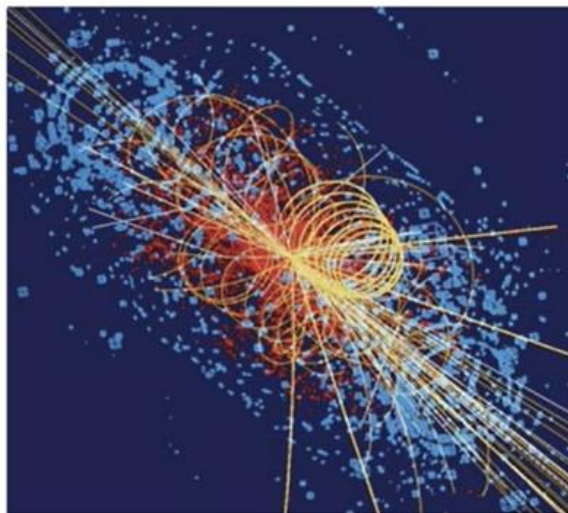
het niet de "Higgs" is, maar waarschijnlijk iets nieuws.

Wat we in de toekomst willen doen, is een veel beter beeld krijgen van deze vuurbal, met name de polarisatie van het licht. En door daar een beeld van te krijgen, kunnen we de eigenschappen van dat 'veld dat fluctueerde in het vroege heelal' beter begrijpen.

Deze blik in de toekomst is de beste hoop die we hebben om verder te gaan dan het *standaardmodel* en nieuwe fysica te begrijpen.

In de laatste 10 minuten wil ik u echter met beide benen terug op de grond zetten.

Meanwhile, back on Earth



We doen heel veel experimenten hier op aarde, waar we altijd proberen het beter te doen, waar we ook proberen verder te gaan dan het *standaardmodel van de fysica*, voorbij deze *mathematische vergelijking*, om te begrijpen wat er nieuw is.

En er zijn er veel, maar de belangrijkste is degene die ik eerder noemde. Dit is de LHC-Cern.

De LHC ontdekte het 'Higgs-deeltje' in 2012. Kort daarna werd het voor twee jaar stilgelegd. Daar hebben ze een upgrade gedaan. En in 2015 herstorte de LHC met twee keer zoveel energie als toen hij het 'Higgs-deeltje' ontdekte.

Hiervoor waren twee doeleinden. Het doel was:

- eerst om het **Higgs Boson** beter te begrijpen, wat het fantastisch deed, en
- tweede om nieuwe fysica te ontdekken die voorbij het **Higgsdeeltje** ligt.

Nieuwe fysica die verder gaat dan het *standaardmodel*.

Dus voordat ik u vertel wat hij zag, wil ik u enkele ideeën vertellen die we hadden, enkele van onze hoopvolle verwachtingen voor wat er in de toekomst zou gebeuren.

Hier is onze favoriete vergelijking opnieuw:

De Theorie van alles (tot hiertoe).

The theory of everything (so far)

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Dit is altijd het idee geweest. Weet u, als u een wetenschapper was in het Victoriaanse tijdperk, en u zou teruggaan om naar *het periodiek systeem der elementen* te kijken, zou u zich realiseren dat er patronen in zitten die een idee geven van een onderliggende structuur. Deze nummers hier die zich herhalen.

Waar u, als u heel slim bent, zou gaan beseffen dat er inderdaad iets diepers is achter deze elementen. Dus onze hoop als theoretici is om naar deze mathematische vergelijking te kijken en te zien of we misschien patronen in deze vergelijking kunnen vinden die suggereren dat er iets diepers op de loer ligt. En dat ligt precies daar in deze vergelijking.

Dus laat me u een voorbeeld geven.

- Dit is de vergelijking die de **sterkte van elektriciteit en het magnetisme** beschrijft.

- En dit is bijna hetzelfde als de vergelijkingen die de **sterke en zwakke kernkracht** beschrijven.

Zoals u kunt zien, heb ik zojuist de letters gewijzigd.

Het is een beetje ingewikkelder dan dat, maar het is niet veel ingewikkelder dan dat. De **drie krachten lijken echt op elkaar**.

Dus u zou zich kunnen afvragen of er misschien niet drie verschillende krachten in het universum zijn. Misschien zouden deze drie krachten eigenlijk maar **één kracht zijn**?

En dat als we denken dat er drie krachten zijn, dat komt omdat we deze **ene kracht** vanuit iets andere hoeken bekijken? Misschien is het dat?

Hier is nog iets geweldigs.

Dit zijn de vergelijkingen van de **12 materievelden van het universum: neutrino's, elektronen en quarks**.

Elk van hen gehoorzaamt precies dezelfde vergelijking.

Elk van hen gehoorzaamt de Dirac-vergelijking.

Dus nogmaals, u kunt zich afvragen of dat er misschien geen 12 verschillende velden zijn?

Misschien zijn ze allemaal hetzelfde veld en hetzelfde deeltje, en het feit dat ze er anders uitzien, is misschien weer omdat we ze vanuit iets andere hoeken bekijken? Misschien is het dat?

DE UNIFICATIE THEORIE.

Ideas of unification

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Dus deze laatste ideeën die ik heb voorgesteld, worden **unificatie** genoemd.

Het idee dat de drie krachten feitelijk worden gecombineerd tot één wordt de "Grote Unificatie" genoemd.

Het is heel gemakkelijk om een wiskundige theorie te schrijven waarin al deze krachten één kracht vormen van wat drie lijkt te zijn, vanuit ons standpunt.

Er zijn andere mogelijkheden. U zou kunnen zeggen, nou ja

- dat is het probleem,
- dit zijn de sterke punten.
- En de vergelijkingen die verschillend zijn.

Maar zo verschillend zijn ze niet. Want uiteindelijk zijn het maar **velden**.

Dan kun u zich afvragen of er misschien manieren zijn waarop materie en krachten zich tot elkaar verhouden?

Nou, daar hebben we ook een theorie voor.

Het is een theorie genaamd : **Supersymmetrie**.

En het is een geweldige theorie. Het is conceptueel erg diep. En het voelt alsof dat zou kunnen kloppen.

Eindelijk zou u heel, heel vooruitstrevend kunnen zijn. U kan zeggen:

Wat als ik de partij gewoon combineer? Om van al deze termen af te komen en slechts één term te schrijven waaruit al het andere voortkomt? Zwaartekracht, krachten, deeltjes, de Higgs, alles.

Ook daar heb ik iets voor u als u geïnteresseerd bent.

Dit heet **snaartheorie of string theorie**

We hebben dus de mogelijkheid van een theorie die alles in één enkel concept omvat. En de vraag die dan meteen opkomt is: klopt dit? Weet u, het is heel gemakkelijk voor ons theoretici om deze ideeën te hebben. En ik zou moeten zeggen dat deze ideeën de theoretische natuurkunde 30 jaar lang hebben geleid, maar we willen weten of ze gelijk hebben? En we hebben een manier om te zien of ze gelijk hebben: door wetenschappelijke experimenten te doen.

Dus ik moet u zeggen dat als u wilt weten of de **snaartheorie** correct is, we die nog niet hebben kunnen testen.

Maar als u wilt weten of sommige van deze andere ideeën juist zijn, dan moet

het van LHC-Cern komen.

De reden dat we de LHC hebben gebouwd was:

- eerst om het 'Higgs Boson' te vinden en het werkte.
- Ten tweede, om dat soort ideeën te testen waar we het net over hadden om te zien wat erachter zit.

De LHC heeft dus gewerkt.

Het werkte als een absolute droom. Het is een perfecte machine. Twee jaar. Dit is wat het zag: **Absoluut niets**. Al deze mooie fantastische ideeën die we hadden, geen van hen is verschenen.

En de volgende vraag is: hoe gaan we dit oplossen? Hoe gaan we vooruitgang boeken in het begrijpen van de volgende laag van de fysica als de LHC niets ziet en onze ideeën gewoon niet lijken overeen te komen met de manier waarop de natuur werkt?

Ik moet u zeggen dat ik hier vaak geen goed antwoord op heb. Ik heb het gevoel dat het grootste deel van mijn gemeenschap een beetje geschokt is door wat er is gebeurd. Er is zeker geen consensus in de gemeenschap over hoe verder te gaan. Maar ik denk dat er drie antwoorden zijn die verschillende onder ons hebben gehad en die ik graag met u wil delen. En ik denk dat die drie antwoorden tot op zekere hoogte redelijk zijn.

De eerste reactie op de LHC die niets ziet, is de volgende.

U, de jonge mensen zijn zo pessimistisch. Alles is catastrofaal met u. U hebt wat meer geduld nodig. Weet u, vorig jaar heb ik niets gezien en dit jaar heb ik niets gezien. Maar volgend jaar zal ik iets zien. En zo niet, dan wordt het volgend jaar, of het jaar daarna zie ik wel iets. Het zijn meestal mijn zeer illustere senior collega's die zo zijn... en weet u wat? Ze zouden wel eens gelijk kunnen hebben. Het zou heel goed kunnen dat de LHC volgend jaar (2018) iets verbazingwekkends ontdekt, dat de weg opent naar het begrijpen van de volgende laag van de werkelijkheid.

Maar het is ook waar dat diezelfde mensen voorspelden dat we nu al iets hadden moeten zien.

En het klopt ook dat het niet lang meer kan duren. Als de LHC niets ziet in bijvoorbeeld een tijdschema van twee jaar, lijkt het zeer, zeer onwaarschijnlijk dat het daarna nog iets zal zien. Het is altijd mogelijk, maar het lijkt gewoon onwaarschijnlijk. Ik hoop dus met heel mijn hart dat de LHC volgend jaar of het jaar daarna iets ontdekt. Maar ik denk dat we ons op het ergste moeten voorbereiden, dat het misschien niet het geval is.

Antwoord nummer twee. Antwoord nummer twee, dat ook van soortgelijke mensen afkomstig is, nou, *al onze theorieën zijn zo mooi*. Ze moeten absoluut gelijk hebben, en wat we echt nodig hebben is een grotere machine: 10 keer zo groot is voldoende. Nogmaals, misschien hebben ze gelijk. Ik heb daar geen goed argument tegen.

De voor de hand liggende weerlegging is echter dat een nieuwe machine 10 miljard dollar kost. Er zijn niet veel regeringen in de wereld die 10 miljard dollar hebben om ons in staat te stellen deze ideeën te onderzoeken.

Er is er één: China. En dus als deze machine moet worden gebouwd, zal deze door de Chinese overheid worden gebouwd.

Ik denk dat de Chinese regering het buitengewoon interessant zou vinden als de hele gemeenschap van deeltjesfysici en ingenieurs, momenteel gestationeerd op CERN en Genève, zou verhuizen naar een stad iets ten noorden van Beijing. Ik denk dat ze het als politiek en economisch gewin zouden zien, en de kans is groot dat ze besluiten deze machine te bouwen. Als ze dat doen, duurt het ongeveer 20 jaar om te bouwen. We wachten dus nog even af.

Er is een derde antwoord. En ik zou moeten zeggen dat het derde antwoord een beetje het kamp is waarin ik me bevind. Ik moet vooraf vermelden dat dit speculatief is en waarschijnlijk niet wordt onderschreven door de meeste van mijn collega's. Dus dat is op dit moment echt mijn persoonlijke mening. Dat is mijn kijk erop.

Or...

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

maybe there are further hints in this equation that we've missed?

Dit is de vergelijking waarvan we weten dat ze correct is.

Het is een soort basis van ons begrip.

Maar hoewel we weten dat het waar is, zit er zoveel in deze vergelijking dat we niet hebben begrepen.

Er zijn veel dingen voor mij die nog steeds mysterieus zijn in deze vergelijking. Dus hoewel deze vergelijking leek op **unificatie**-suggesties, zijn het misschien gewoon afleidingen.

En als we harder werken om deze mathematische vergelijking beter te begrijpen, zullen we misschien ontdekken dat er andere patronen ontstaan.

Dus mijn antwoord is: ik denk dat we misschien gewoon terug moeten gaan naar de tekentafel en enkele van de aannames en paradigma's die we de afgelopen 30 jaar hebben gehandhaafd, in twijfel moeten trekken.

Dus ik voel me eigenlijk behoorlijk energiek door het gebrek aan resultaten van de LHC.

Op de een of andere manier geeft het me een goed gevoel dat iedereen het bij het verkeerde eind had.

U weet heel goed dat we vooruitgang beginnen te maken wanneer we fouten maken.

Dus daar ben ik best blij mee, en ik denk dat er een zeer reële kans is dat we gewoon over andere ideeën kunnen gaan nadenken.

Ik moet zeggen dat er hier zelfs aanwijzingen voor zijn.

Het lijkt mij dat er aanwijzingen zijn die we niet hebben onderzocht op de wiskundige modellen. Er staan hints in over verbanden met andere wetenschapsgebieden.

Dingen zoals:

- **fysica van de gecondenseerde materie**, de wetenschap van hoe materialen werken, of
- **kwantum informatie wetenschap**, de poging om een kwantumcomputer te bouwen.

Al deze fantastische onderwerpen hebben nieuwe ideeën die bijdragen aan het soort vragen dat we hier stellen.

Dus ik ben vrij optimistisch dat we vooruitgang kunnen boeken, misschien niet de vooruitgang die we een paar jaar geleden dachten te hebben, maar gewoon iets nieuws. Dat is dus de clou van mijn betoog.

De clou is dat het de grootste vergelijking is die we ooit hebben geschreven.

Ik hoop dat we u op een dag iets beters kunnen bieden.

Bedankt voor uw aandacht.

GROUPE MEZZA VERDE.

<http://www.mezzaverde.com>