

# Samenvatting door Carlos Van Cauwenberghe van de lezing over “Het Higgs-deeltje ontdekt. En wat dan?”

gegeven door Prof. Dirk Ryckbosch, Universiteit Gent

## Inleiding:

Zie informatie over de lezing van 9/2/2015 in ons tijdschrift of op het internet.

## Een beetje geschiedenis.

### 1. Periode voor en tijdens Wereldoorlog I:

**1803:** John Dalton (UK) ontdekt 20 atomen ( $\alpha\tau\omega\mu\acute{o}\varsigma$  of ondeelbaar), waaronder o.m. zuurstof, koolstof, stikstof, waterstof.

**1871:** De Rus Dmitri Mendeljev komt reeds aan 56 atomen in zijn “Periodiek Systeem der Elementen”. Hij toont aan dat, wanneer chemische processen gerangschikt worden volgens hun atoommassa (later atoomnummer), er zich een periodiciteit in de eigenschappen voordoet.

**1897:** J.J. Thomson (UK) ontdekt het negatief geladen elektron.

**Rond 1900:** ontdekking van de radioactiviteit door H. Becquerel (UK) en P. en M. Curie (Fr.)

**1911:** E. Rutherford ontdekt de positief geladen atoomkern met een grootte van  $10^{-14}$  m.

### 2. De verdere gang van zaken na Wereldoorlog I tot heden:

**1919:** Rutherford ontdekt nu ook het proton, zijnde het positief geladen deel van de atoomkern.

**1930:** ontdekking van het positron of het antideeltje van het elektron;

**1932:** E. Chadwick ontdekt het neutron of het niet-geladen onderdeel van de atoomkern.

Zo omvatten de kernen van H, He, Li, Be, B, C, N, O, enz. respect. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, enz. protonen; de vermelde getallen worden ook atoomnummers of atoomgetallen genoemd.

Tot dusver heeft men dus:

- proton + neutron = atoomkern en atoomkern + elektron = atoom;

- muon: de zwaardere versie van het elektron;

- pion of het Yukawa krachtdeeltje.

**1940-1950:** bouw van de eerste versnellers, waardoor de ontdekking van o.m. nog andere deeltjes volgen: anti-protonen, kaonen, rho-mesonen, A-hyperion, enz.

#### Krachten:

De deeltjes reageren via een (kracht)veld. Dit begrip werd ingevoerd door Faraday.

In dit verband had men, buiten de **aantrekkingskracht** (uitvinding Isaac Newton) en de **elektromagnetische kracht**, nog 2 nieuwe krachten nodig, namelijk de **sterke kernkracht** en de **stille kernkracht**.

Deze 4 krachten zijn golvend.; de kleinst mogelijke golf is het deeltje zelf.

De elektromagnetische krachten en de aantrekkingskrachten ontstaan respectievelijk door fotonen en gravitonen (nog nader onderzoek nodig).

**1960-1964:** protonen en neutronen bestaan uit quarks, die de stille krachten veroorzaken.

Iedere proton/neutron bestaat uit 3 quarks; deze zijn nodig om die deeltjes te verklaren.

Men heeft de zichtbare materiedeeltjes:

	(1)	(2)	(3)
Quarks: 6 stuks:	u	c	t
	d	s	b
Leptonen: 6 stuks:	e	$\mu$	$\tau$
	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$

De deeltjes in de kolom (1) zijn de zichtbare deeltjes van de 1<sup>ste</sup> generatie

De deeltjes sub (2) en (3) zijn de zichtbare deeltjes van de 2<sup>de</sup> en van de 3<sup>de</sup> generatie; deze zijn zwaarder en ook veel zeldzamer. Zie verder.

Het proton bestaat uit 2 upquarks en 1 downquark.

Verder heeft men de krachtvoerende deeltjes of de ijkbosonen, die de fundamentele natuurkrachten overbrengen:

Z      $\gamma$

W     g

waarbij:    Z en W: de overbrengers zijn van de **zwakke kernkracht (stille kracht)**;  
               $\gamma$  of foton: de overbrenger van de **elektromagnetisch kracht**;  
              g of gluon: de overbrenger van de **sterke kernkracht**.

In de 60-er jaren was het "Standaardmodel van de deeltjesfysica" of de succesvolle moderne theorie van de deeltjes en de natuurkrachten nog volop in opbouw. Zie verder sub 3.

**1961:** ontdekking van de Spontane Symmetriebreking (SS) door Yoichiro Nambu (Japan).

Men kan deze vaststelling demonstreren met een lange stok, die men vertikaal houdt; bij het loslaten valt de stok in een niet te voorspellen richting (afhankelijk van een lichte overdruk of van een zwakke luchtbeving in de richting van de val en dit op het ogenblik van het loslaten).

**1964:** de theorie van het BEH-boson of het H-deeltje (door Leon Lederman in 1993 ook het "Godsdeeltje" genoemd) wordt bedacht door drie onafhankelijke groepen:

- op 31 augustus door de twee Belgische fysici *Robert Brout* (heeft toch Amerikaanse roots) en *François Englert*;
- op 15 september, door de Engelsman *Peter Higgs*;
- op 16 november door de groep *Carl Richard Hagen* en *Gerald Guralnik* (Amerikanen) en de Brit *Tom Kibble*.

Kenmerken van H-deeltje:

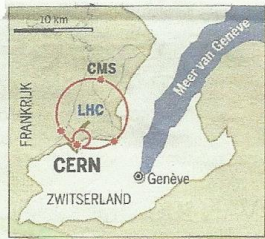
- het heeft een korte leeftijd;
- het gaat over in lichtere deeltjes;
- het wordt gekoppeld aan massa.

Zo vormt zich bij botsing van 2 gluonen of van 2 quarks telkens één BEH-boson.

Het H-deeltje is zelf geen gewoon materiedeeltje, maar het is uitermate belangrijk, omdat het de meeste andere deeltjes massa geeft.

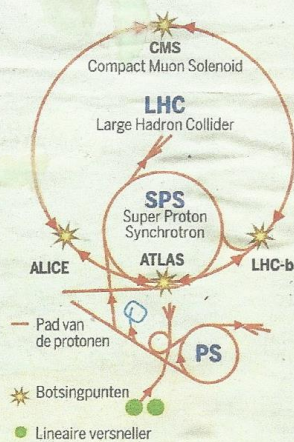
De technologie van dit BEH-mechanisme is maar moeilijk te begrijpen, omdat ze is geschreven in de taal van de wiskunde.

Om de H-deeltjes te maken hebben fysici (dit zijn meer dan 10.000 wetenschappers en ingenieurs uit meer dan 100 landen, 100-den universiteiten en laboratoria) hun medewerking verleend aan het Europese laboratorium voor deeltjesfysica ("European Organisation for Nuclear Research" of CERN), gelegen ten NW van Genève, en dit voor de bouw van één van de grootste en meest complexe machines ter wereld, namelijk de **Large Hadron Collider (LHC)**. De bouw geschiedde in de periode van 1998 tot 2008. **Zie figuren 1 en 2.**



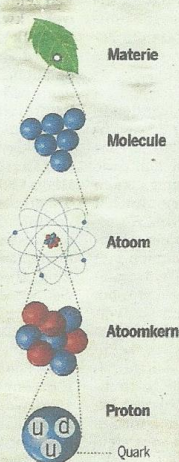
### CERN VERSNELLER-COMPLEX

De protonen worden versneld in een opeenvolging van ringvormige machines, die de deeltjes tot steeds hogere snelheden opjagen.



### MATERIEDEELTJES

Gewone materie is opgebouwd uit moleculen, groepjes aan elkaar klevende atomen. Elk atoom bestaat uit een kleine, zware atoomkern, die omgeven wordt door een wolk van snel bewegende kleine elektronen. De atoomkern bestaat uit protonen en neutronen. Elk neutron en proton bestaat uit drie quarks. Het proton bestaat uit twee quarks van het type 'up' en een 'down'. Het Higgs is zelf geen gewoon materie-deeltje; het is het deeltje dat aan de meeste andere deeltjes hun massa verleent.



DS-Infografie.nl | Bron: CERN, Reuters

### Wat is het Higgs? het korte antwoord

Het Higgs-deeltje of Brout-Englert-Higgs-deeltje is een elementair deeltje, de laatste toevoeging aan de hele zoo van deeltjes die fysici al ontdekt hebben. Maar het is geen gewoon materie-deeltje, zoals elektronen of quarks, waarvan atomen of mensen zijn gemaakt. Het speelt een hele speciale, unieke rol in de theorie van de deeltjes: het is namelijk het deeltje dat ervoor zorgt dat de meeste andere deeltjes massa hebben. Je zou kunnen zeggen dat het gewicht geeft aan de natuur. Zonder Higgs zouden alle andere deeltjes even licht zijn als fotonen (lichtdeeltjes). Wij zouden niet kunnen bestaan in zo'n etherisch heilal zonder vaste, zware materie. Het Higgs mag dan alomtegenwoordig zijn in zijn massagevende werk, het laat zich niet zomaar betrappen. Om een waarneembaar Higgs-deeltje aan te maken is een reusachtige deeltjesversneller nodig, en een even reusachtige detector om het te observeren. (sts)

### LARGE HADRON COLLIDER (LHC)

- 1 Protonen komen uit kleinere machines in de SPS.
- 2 Protonen worden overgebracht naar de grootste ring, de LHC. Ze draaien in twee tegengestelde richtingen in de ring.
- 3 Protonen worden versneld tot bijna de lichtsnelheid. Op vier punten, waar de paden elkaar snijden, komen ze in botsing.

### DE LHC IN CIJFERS

Het meest complexe wetenschappelijke instrument ter wereld  
 Omtrek: 27 km  
 Diepte: 50-175 m  
 Versnelt: protonen (soms ook zware ionen)  
 4 botsingspunten  
 CMS, ALICE, ATLAS and LHCb

### COMPACT MUON SOLENOID DETECTOR (CMS)

Protonen gaan hier naar binnen

Protonen botsen

In de detector wordt het pad van de wegspringende deeltjes nauwkeurig gevolgd.

Protonen gaan hier naar binnen

### BOTSINGEN

Bij de botsingen van protonen komt genoeg energie vrij om honderden nieuwe deeltjes aan te maken. Heel af en toe is daar een Higgs bij.

### ENERGIE VAN DEELTJES IN DE LHC

	Energie van protonen (vandaag)	Energie van protonen (toekomstige upgrade)
LINAC2	50 MeV	50 MeV
PS Booster	1.4 GeV	1.4 GeV
PS	25 GeV	25 GeV
SPS	450 GeV	450 GeV
LHC	4 TeV	7 TeV
Botsingsenergie	8 TeV	14 TeV

M (mega) = 1.000.000  
 G (giga) = 1.000.000.000, T (tera) = 1.000.000.000.000

Referentie: De Standaard van 05/07/20

Deze deeltjesversneller (kostprijs ca. 6 miljard euro) is ondergebracht in een 27 km lange ondergrondse tunnel met een diepte van 50 tot 175 m en dient om protonen tot 99.9999964 % van de lichtsnelheid in de 2 richtingen op te jagen en om deze dan frontaal in 4 punten tegen elkaar te doen botsen.

De Bijlage 2 geeft een opsomming van de kleinere versnellers, die de protonen een stelselmatige verhoging van energie geven: dit gaat van de LINAC 2, via de PS (Proton Synchrotron) Booster, via de PS naar de S (Super) PS.

Pas hierna worden de protonen in de 2 richtingen geïnjecteerd in de reusachtige LHC, waar de snelheden en de krachten nog groter worden.

In totaal zijn er meer dan 1600 supergeleidende, uiterst zware magneten nodig (soms met een gewicht van meer dan 27 ton) om zowel de bundels protonen in de LHC cirkelvormig te laten ronddraaien als om de bundels naar de botsingspunten in de 4 detectoren te richten.

De botsingsenergie ging tot 7 TeV (7 Tera elektron Volt).

De botsingen en de deeltjes, die erbij gevormd worden, kunnen dus geobserveerd worden dank zij 4 detectoren (CMS, ALICE, ATLAS en LHCb genoemd).

CMS en Atlas zijn reuze detectoren; het was een hele klus om deze gigantische constructies ondergronds op hun plaats te krijgen.

Na de start van de eerste experimenten (op 10-09-2008) ging er eerst wat mis t.g.v. een foutieve elektrische verbinding. Hierdoor ontstond er een lek in de ruimte van de met vloeibaar helium gekoelde magneten. Zo moesten er o.m. 53 magneten worden vervangen en had de start van de LHC (op 20-11-2009) een vertraging van meer dan 1 jaar.

Op 30-03-2010 hadden de eerste botsingen tussen 2 bundels van elk 3,5 TeV plaats.

In totaal kunnen er zo ca.  $40 \cdot 10^6$  botsingen per sec. optreden.

Alleen al de uifiltering van de gegevens was een titanenwerk.

Nadat er op 13-12-2011 reeds aanwijzingen waren dat het BEH-boson was gevonden, werd de vondst officieel bevestigd op 04-07-2012.

VUB, UIA, U Gent, UCL, ULB uit België verleenden o.m. hun medewerking.

In 2014 was de kostprijs van het project per persoon 2.2 CHF (Zwitserse frank), berekend voor de 21 deelnemende landen met in totaal  $517 \cdot 10^6$  inwoners.

Dit komt dus neer op 1.137.400 CHF voor het jaar 2014.

### 3. Het huidig “Standaardmodel van de deeltjesfysica”

Dit model, opgezet in de 70-er jaren, is een theorie uit de deeltjesfysica, waarin de krachten en de deeltjes, die alle materie vormen, worden beschreven.

Experimenten hebben aangetoond dat deze theorie met de kwantummechanica en met de speciale relativiteitstheorie in overeenstemming is.

Dit is echter nog GEEN alles beschrijvende theorie van de fundamentele interacties, hoofdzakelijk omdat ze de zwaartekracht buiten beschouwing laat.

Dit model liet toe om voorspellingen te doen over de latere experimenten (bv. het BEH-boson).

Momenteel is deze theorie in ruime mate aanvaard en in veel gebieden toepasbaar.

De fundamentele (of elementaire) deeltjes kunnen NIET gesplitst worden. (zie figuur 3)

Ze bestaan uit de *fundamentele materiedeeltjes* of *fermionen* en de *krachtvoerende deeltjes* of *bosonen*, zoals de 4 *ijkbosonen* en de andere *bosonen*, met o.m. het *BEH-boson*..

De deeltjes van het standaardmodel					
mass →	≈2.3 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.275 GeV/c <sup>2</sup>	≈173.07 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈126 GeV/c <sup>2</sup>
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> Higgs boson
<b>QUARKS</b>	≈4.8 MeV/c <sup>2</sup>	≈95 MeV/c <sup>2</sup>	≈4.18 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>γ</b> photon	
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
				<b>GAUGE BOSONS</b>	

Referentie: Elementair deeltje - Wikipedia

De verdere onderverdeling van fermionen en bosonen is:

(a) De 12 *fermionen*, die verdeeld zijn in 3 generaties van 4 deeltjes: 6 van deze deeltjes zijn *quarks* (ook paars in de Bijlage 3) en de rest zijn *leptonen* (ook groen in de Bijlage 3), waarvan er 3 negatief zijn. De 3 andere zijn neutrino's.

De onderstaande tabel geeft de details:

Eerste generatie	Tweede generatie	Derde generaties
<i>u</i> of <i>up quark</i>	<i>c</i> of <i>charm quark</i>	<i>t</i> of <i>top quark</i>
<i>d</i> of <i>down quark</i>	<i>s</i> of <i>strange quark</i>	<i>b</i> of <i>bottom quark</i>
<i>e</i> <sup>-</sup> of <i>electron</i>	<i>μ</i> <sup>-</sup> of <i>muon</i>	<i>τ</i> <sup>-</sup> of <i>tau</i>
<i>ν<sub>e</sub></i> of <i>electron-neutrino</i>	<i>ν<sub>μ</sub></i> of <i>muon-neutrino</i>	<i>ν<sub>τ</sub></i> of <i>tau-neutrino</i>
Van elk van de vermelde 12 fermionen zijn er ook de respectievelijke antideeltjes:		
Eerste generatie	Tweede generatie	Derde generaties
<i>u</i> <sup>-</sup> of <i>up antiquark</i>	<i>c</i> <sup>-</sup> of <i>charm antiquark</i>	<i>t</i> <sup>-</sup> of <i>top antiquark</i>
<i>d</i> <sup>-</sup> of <i>down antiquark</i>	<i>s</i> <sup>-</sup> of <i>strange antiquark</i>	<i>b</i> <sup>-</sup> of <i>bottom antiquark</i>
<i>e</i> <sup>+</sup> of <i>positron</i> <i>ν<sub>e</sub></i>	<i>μ</i> <sup>+</sup> of <i>antimuon</i>	<i>τ</i> <sup>+</sup> of <i>antitau</i>
<i>ν<sub>e</sub></i> of <i>electron-antineutrino</i>	<i>ν<sub>μ</sub></i> of <i>muon-antineutrino</i>	<i>ν<sub>τ</sub></i> of <i>tau antineutrino</i>

De fermionen hebben een halftallige spin en voldoen aan de Fermi-Dirac verdeling. Alleen *u*, *d*, *e* en *ν<sub>e</sub>* van de 1<sup>ste</sup> generatie zijn stabiel en vormen de bouwstenen van de atomen. De deeltjes van de 2<sup>de</sup> en van de 3<sup>de</sup> generatie zijn onstabiel en vervallen binnen enkele microseconden.

(b) De *krachtvoerende deeltjes* of *bosonen* bevatten de 4 ijkbosonen (gluon, foton, Z-boson, W-boson), en de bosonen, met het onlangs gevonden BEH deeltje (geel in de Bijlage 3) en andere zoals kaon, pion, meson, graviton (nog aan te tonen).

Ze hebben een gehele spin en voldoen aan de Bose-Einstein-statistiek; de naam boson is ontleend aan de Indiër Satyendra Nath Bose (1895-1974).

Buiten de fundamentele (of elementaire) deeltjes, heeft men nog de *hadronen* (αδρος = sterk) of de subatomaire deeltjes, die uit quarks bestaan. Deze worden door de onderlinge uitwisseling van gluonen bij elkaar gehouden.

Een verder opsplitsing van de hadronen is:

- de *baryonen* (βαρυς = zwaar, e.g. proton en neutron), die bestaan uit 3 quarks: ze hebben een halftallige spin;
- de *mesonen*, zoals de pionen en de kaonen, die bestaan uit 2 quarks (1 quark en 1 anti-quark): ze hebben een heeltallige spin.

In totaal zijn er momenteel ca. 200 subatomaire deeltjes. Ze worden aangeduid met een letter uit het Griekse of het Latijnse alfabet, gevolgd door een andere letter, een teken of een streep.

De deeltjes van het standaardmodel zijn geen deeltjes uit de klassieke mechanica, maar kwantumdeeltjes. Het zijn geen kegeltjes, die rond een kern draaien, maar golfpatronen.

### En wat nu?

Naar het einde van maart 2013 werd de LHC van het CERN stilgelegd voor een "upgrade".

Bij dit nazicht werden, om de 20 m, alle elektrische contactpunten geïnspecteerd en gereviseerd. Ook is de deeltjesversneller krachtiger gemaakt, zodat de botsingsenergie van de protonenbundels (waterstofkernen) tot 13 TeV kan oplopen.

De LHC werd op 05/04/2015 terug opgestart en tegen einde mei 2015 kunnen de eerste zware (ondergrondse) botsingen in het CERN van Genève optreden.

Wat kan er zo, de komende jaren, worden toegevoegd aan de uitvinding van het BEH-boson?

1. De natuurkundigen hopen in de nabije toekomst voorbij het standaardmodel van de deeltjesfysica te kunnen kijken.

Men verwacht nog NIET dat dit al de "theorie van alles" wordt, zoals vooropgesteld in de verschillende snaartheorieën, inclusief de M-theorie van Stephen Hawking.

Men hoopt evenwel dat men, na het vinden van een aantal nieuwe deeltjes (inclusief het graviton), nog een betere theorie dan de huidige kan vinden.

Zo was er begin maart 2015 in de magazine "New Scientist" reeds sprake van een nieuw Z' deeltje of boson (suggestie van CERN-fysicus Niels Tuning).

Dit werd echter nog NIET bevestigd door de andere medewerkers van het CERN.

2. Men bestudeerde tot dusver slechts 4 % van het heelal (d.i. de normale materie); er is echter daar naar schatting nog 75 % donkere energie en 21 % donkere materie aanwezig.

Is donkere materie te fabriceren in de herziene deeltjesversneller van het CERN?

Indien dit mogelijk zou worden, zou dit uiteraard nog belangrijker nieuws zijn dan de vondst van het Higgs-deeltje.