



Nikhef  
Open Dag

**NIKHEF**

# Higgs en anti-materie

HOE DE HIGGS HET VERSCHIL MAAKT

Niels Tuning

# Hoe de Higgs het *verschil* maakt

- Waarom is het Higgs deeltje zo bijzonder?
- De verdwenen anti-materie

**Kairo is synoniem met seksueel geweld**

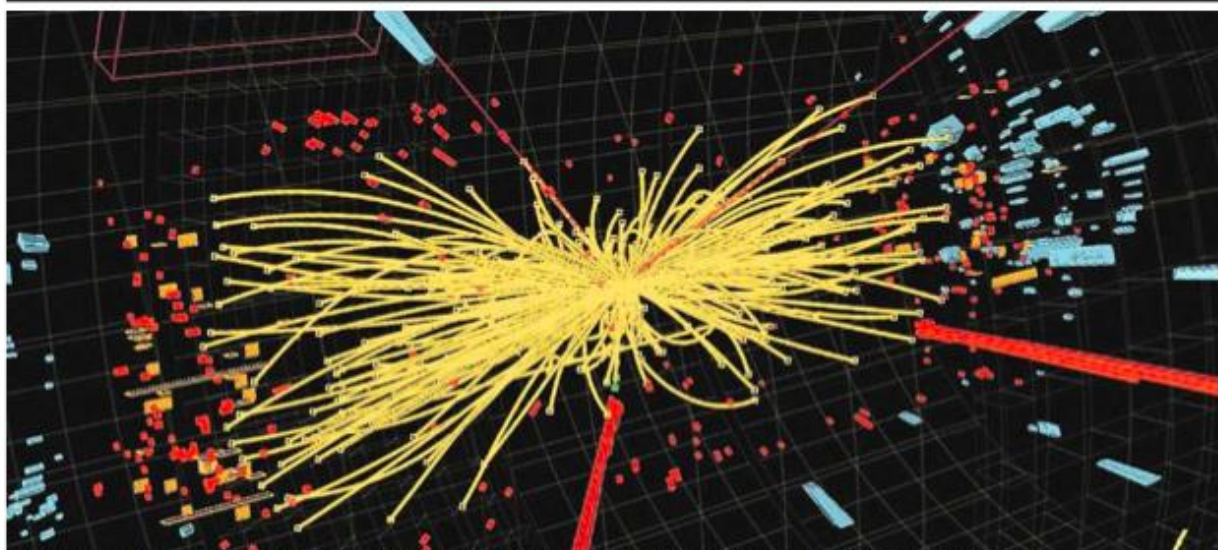
**buitenland 10**

**Pininfarina gaf Ferrari een gezicht**

**het grote verhaal 12-13**

**Afstudeerfilms: lelijke kinderen, dolende zielen**

**film 18-19**



Grafische weergave van de sporen van een proton-protonbotsing in een van de deeltjesdetectoren van CERN, het deeltjesversnellerinstituut bij Genève. Foto AFP / CERN

Historische stap in het onderzoek naar de bouwstenen waaruit heelal is opgebouwd

# Higgsdeeltje 'vrijwel zeker' ontdekt

**Door BRUNO VAN WAYENBURG**  
AMSTERDAM. Na twee uur spanningsrekkende praatjes komt CERN-directeur Rolf Heuer vanmorgen met de mededeling: „We hebben een ontdekking, de waarneming van een nieuw deeltje, met de eigenschappen van een Higgs-boson“.

Het Higgsdeeltje dus, het enige deeltje in het Standaardmodel van de natuurkunde waarvan het bestaan wel voorspeld was maar nog niet aangetoond.

Het is het deeltje dat andere deeltjes hun massa geeft.

Het is groot nieuws: de mededeling leidt tot een ontlading in de zaal bij het CERN, het deeltjesversnellerinstituut bij Genève. Het publiek van vooral natuurkundigen klappt en joelt.

Aanvankelijk narzelennd applausdissen ook de onderzoekers en pers die samengekomen zijn in Nikhef, het instituut voor deeltjesfysica in Amsterdam.

Het lijkt er nu toch echt op dat ze, zij het virtueel, aanwezig zijn bij een historische aankondiging. Uit presentaties van Joe Incandela van de CMS-deeltjesdetector en van Gianotti van de ATLAS-detector, blijkt dat er maar een hele kleine kans op toeval is: minder dan 1 op de 3,5 miljoen. „Er is absoluut een nieuw deeltje ontdekt, dat valt niet meer te ontkennen“, zegt ook Stan Bentvelsen, projectleider van de Nederlandse inbreng in het ATLAS-experiment, waarbij 45 onderzoekers betrokken zijn.

Om het Higgsdeeltje aan te tonen,

moet je nieuwe deeltjes maken. Dat is peperduur, maar eenvoudig. Je laat in een deeltjesversneller deeltjes met vrijwel de lichtsnelheid met elkaar botsen. Hoe harder de botsing, hoe meer energie er wordt omgezet in nieuwe deeltjes. Zoals het Higgs-boson, dat in de jaren zestig voorspeld werd door zes theoretisch natuurkundigen. Het werd naar een van hem genoemd, Peter Higgs.

De Higgs is nodig om te verklaren hoe het komt dat alles massa heeft: doordat deeltjes worden afgeremd door het zogeheten Higgs-veld. Zo alomtegenwoordig als het uitgesproken Higgs is, zo ongrijpbaar is het als deeltje.

Zo gauw het ontstaat uit de enorme energie die vrijkomt bij een botsing, zo snel valt het ook weer uit el-

kaar in verschillende elementaire deeltjes. Alleen die brokstukken zijn, meteen na een botsing, goed te zien in de detectoren.

Maar veel vaker ontstaat er bij een botsing geen Higgs, maar een mix van al bekende deeltjes. Onderscheid maken tussen 'Higgs- en niet-Higgs-botsingen' is een kwestie van netjes meten en ruw en zware statistiek.

Daarover gaat het allemaal, in de presentaties van Gianotti en Incandela.

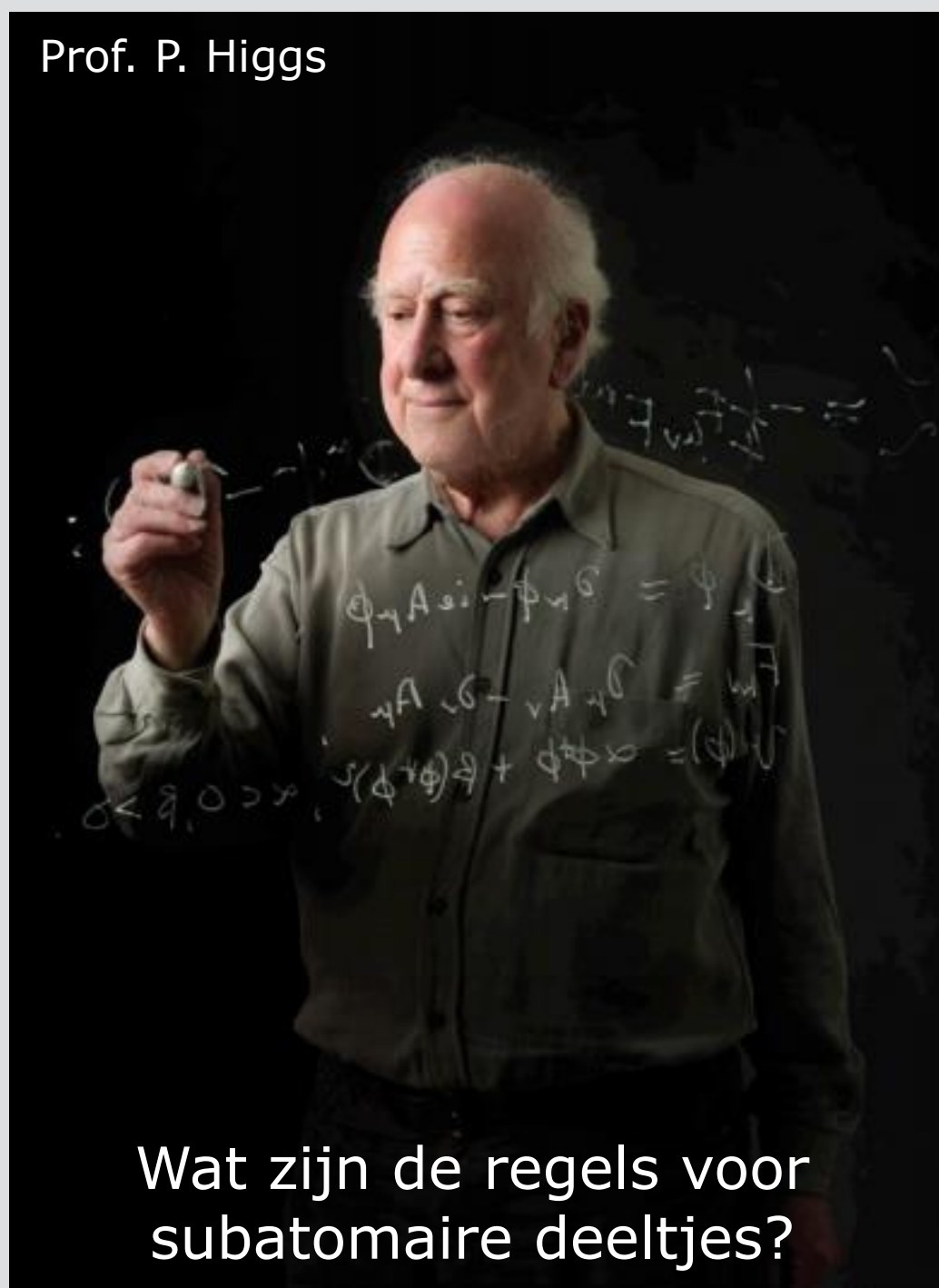
In het deeltjesjagen gaat het om de sigma-waarde: een statistische maat voor de kans dat de gevonden botsingen, ook al lijken ze op een nieuw deeltje, toch een toevallige uitschieter zijn. De afspraak is dat je een deeltje pas mag claimen bij een sigma van 5: de kans dat het om een toevallige

uitschieter zou gaan is dan 1 op de 3,5 miljoen. Incandela eindigt met een tergende 4,9, net geen 5. Maar Gianotti komt na eindeloze details uit op 5,0.

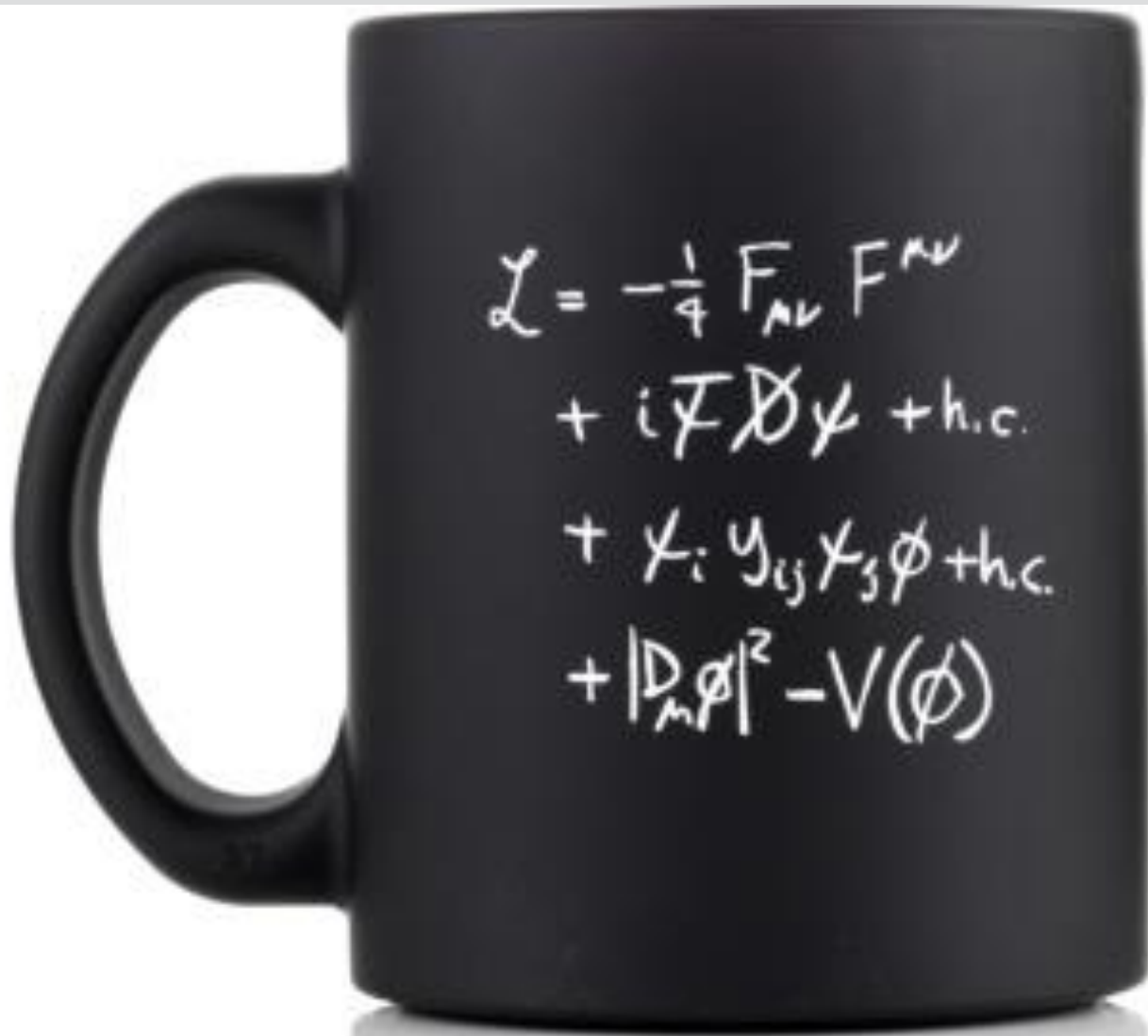
„Nu moeten we onderzoeken of het ook de Higgs is“, zegt Bentvelsen. Daar lijkt het wel op. „Al vervalt het wel iets vaker in twee fotonen dan je zou verwachten.“

Maar mocht het geen Higgs-boson zijn, of zelfs maar een licht afwijkend Higgs-boson, dan zou dat nog groter nieuws zijn. Want meer nog dan naar het Higgs-boson, snakken natuurkundigen naar 'nieuwe natuurkunde': metingen of deeltjes die eindelijk eens een keer niet overeenkomen met het Standaardmodel, is dus het devies. „Dit is pas het begin“, concludeert ook Gianotti.

Prof. P. Higgs



Wat zijn de regels voor  
subatomaire deeltjes?



➤ Beschrijving van gedrag van deeltjes

## Fotonen $F_{\mu\nu}$

(Maxwell vergelijkingen!  
E-veld, B-veld,  
electro-magnetische golven, ...)

## Deeltjes $\psi$

("gewone" materie, electronen,  
quarks, ...)

## Interacties $D$

(hoe de deeltjes elkaar  
"voelen")

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

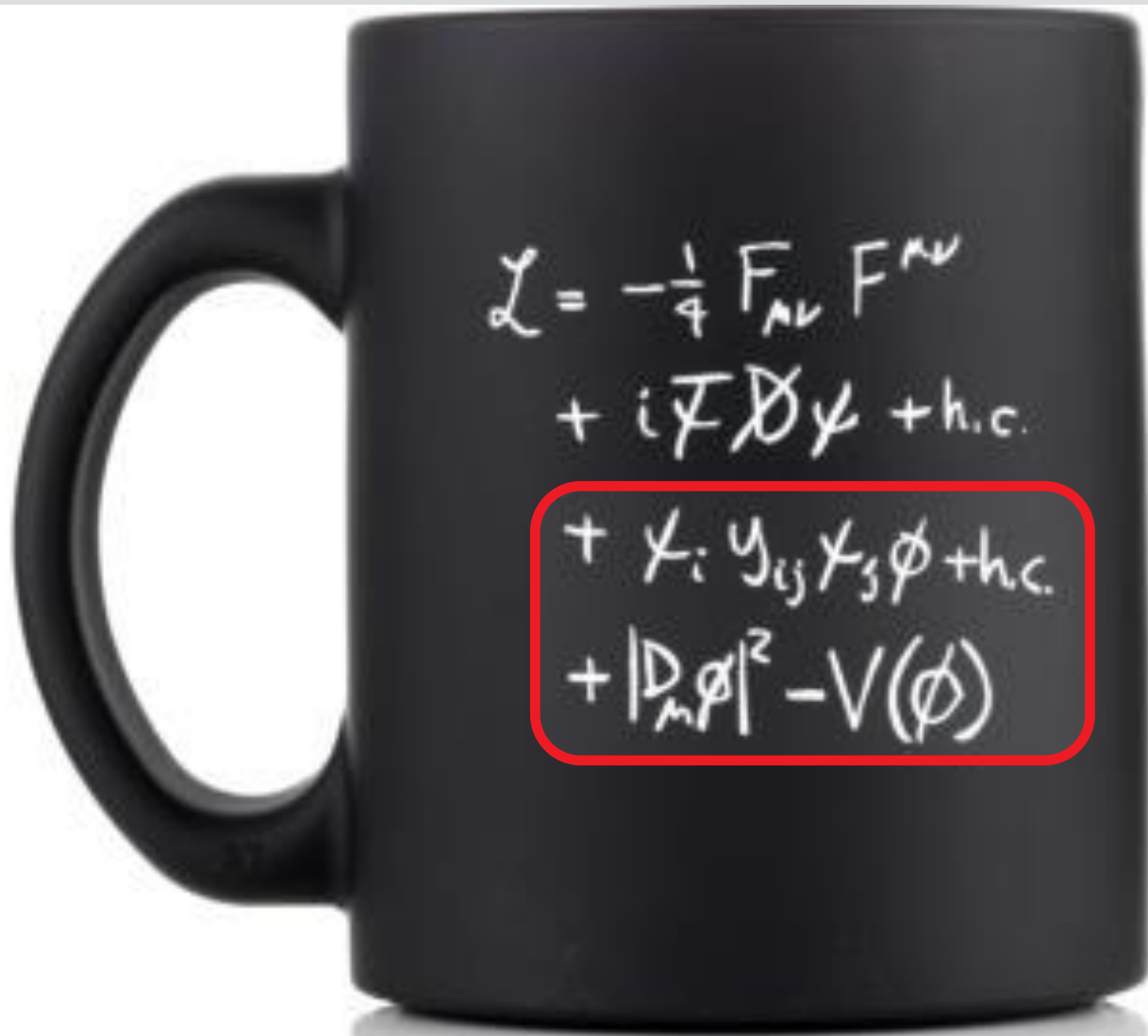
$$+ i \bar{\psi} \not{D} \psi + h.c.$$

$$+ \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + h.c.$$

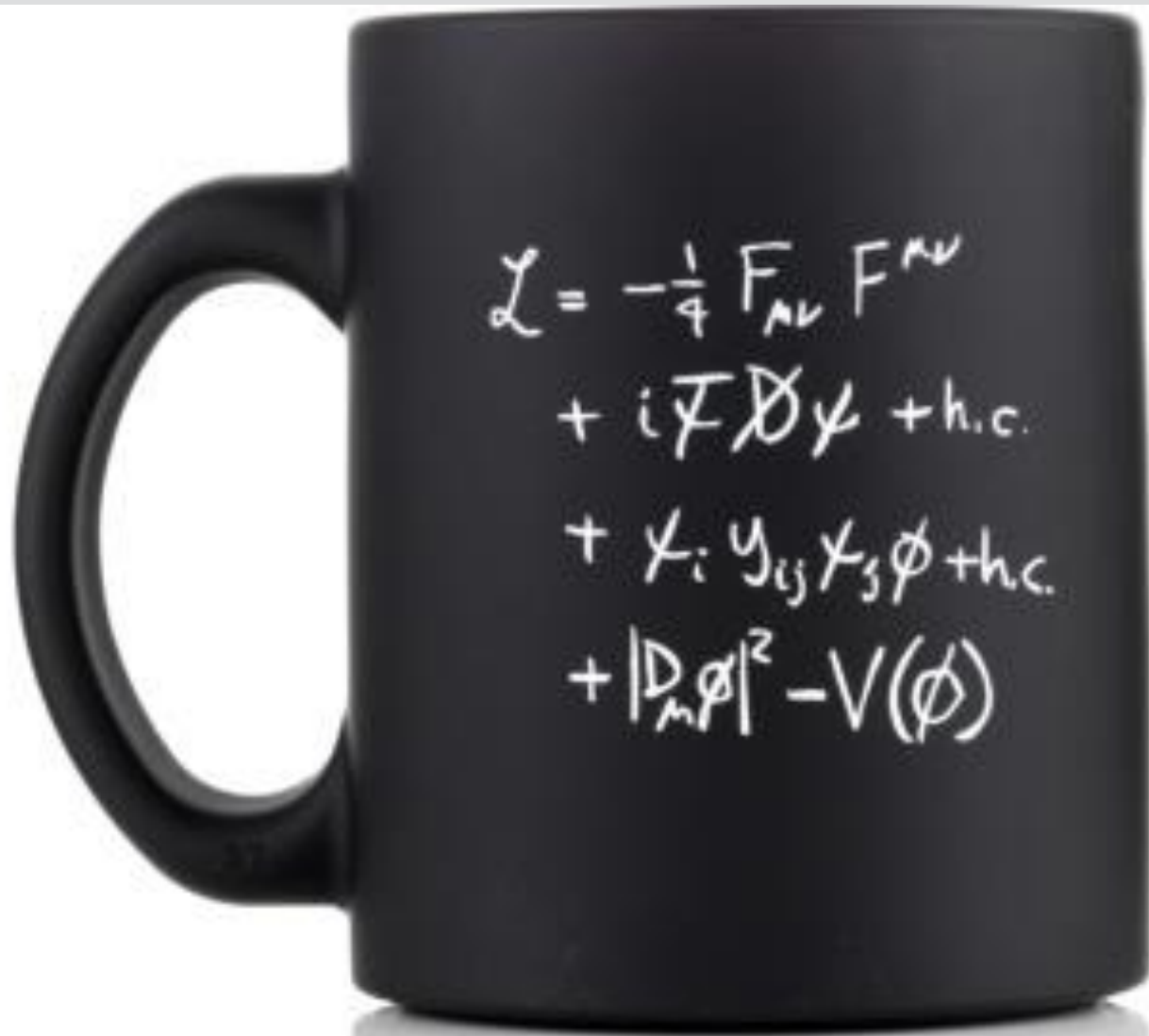
$$+ |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

$\psi\psi\phi$  **Massa**  
(voor de "gewone" deeltjes)

$\phi$  **Higgs**



➤ Helft van de mok gaat over Higgs!

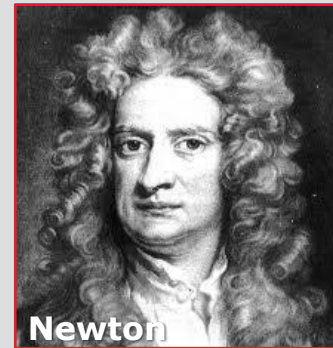


Te koop in de CERN winkel



## Massa?

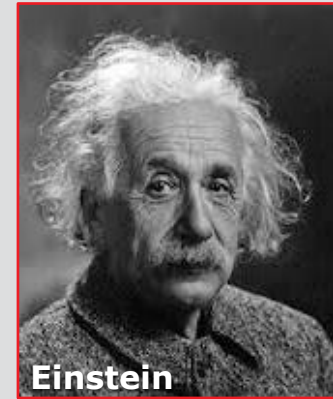
$$F = m \times a$$



Newton

- Massa is “wisselkoers” tussen kracht en versnelling  
Maar... wat **is** het?

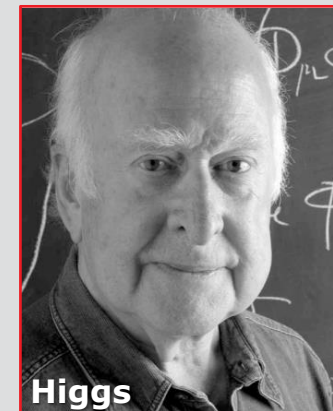
$$E = m \times c^2$$



Einstein

- Massa is energie  
Maar... waar komt het **vandaan**?

$$m: \psi\psi\phi$$



Higgs

- Massa is wrijving met Higgs veld!

*“Wij zwemmen in een oceaan van Higgs deeltjes,  
... alsof we vissen zijn en nu hebben vastgesteld dat  
er water om ons heen is.”*

Prof. Robbert Dijkgraaf



# Hoe de Higgs het *verschil* maakt

- Waarom is het Higgs deeltje zo bijzonder?
- De verdwenen anti-materie

Waar is de anti-materie gebleven?

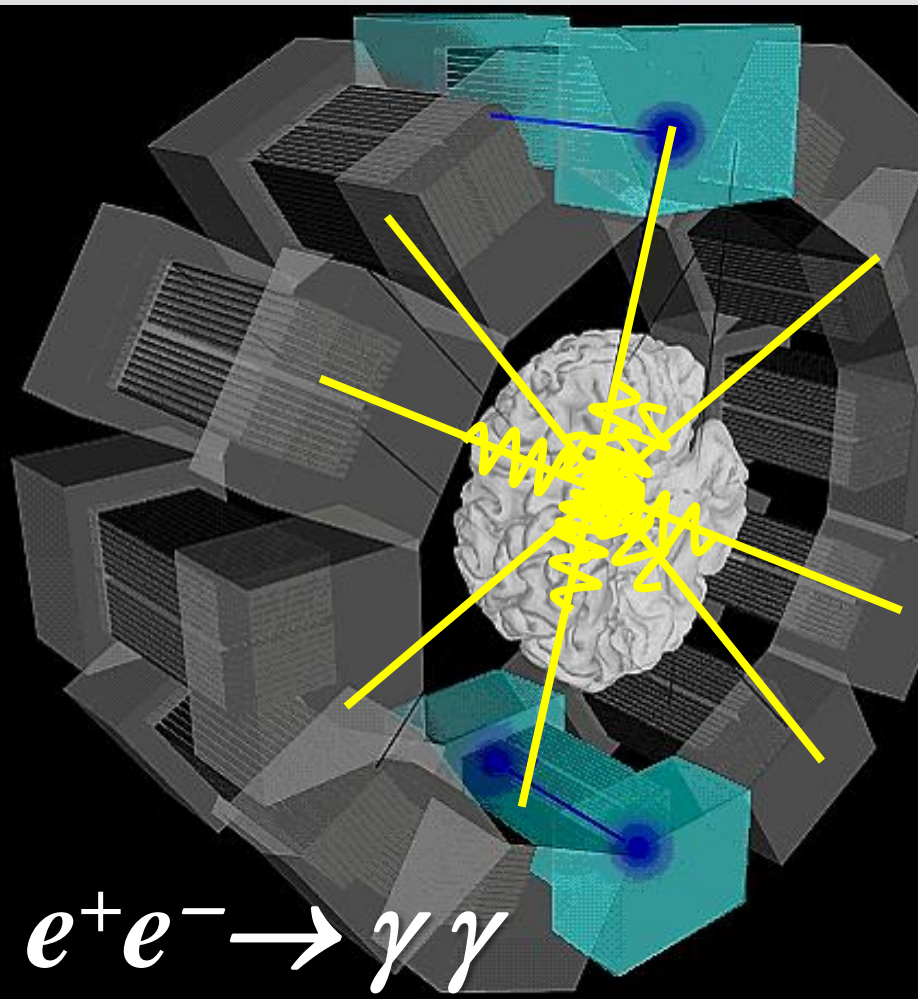


# Anti-materie?

- Anti-materie annihileert in contact met materie
- Dagelijkse routine in ziekenhuizen

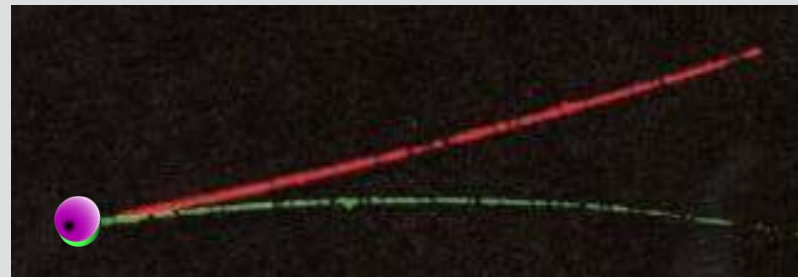
# Anti-materie?

- Anti-materie annihileert in contact met materie
- Dagelijkse routine in ziekenhuizen



# Anti-materie?

- Anti-materie annihileert in contact met materie
- Dagelijkse routine in ziekenhuizen
- In het lab maken we *altijd* gelijke hoeveelheden:



Waar is de anti-materie gebleven?

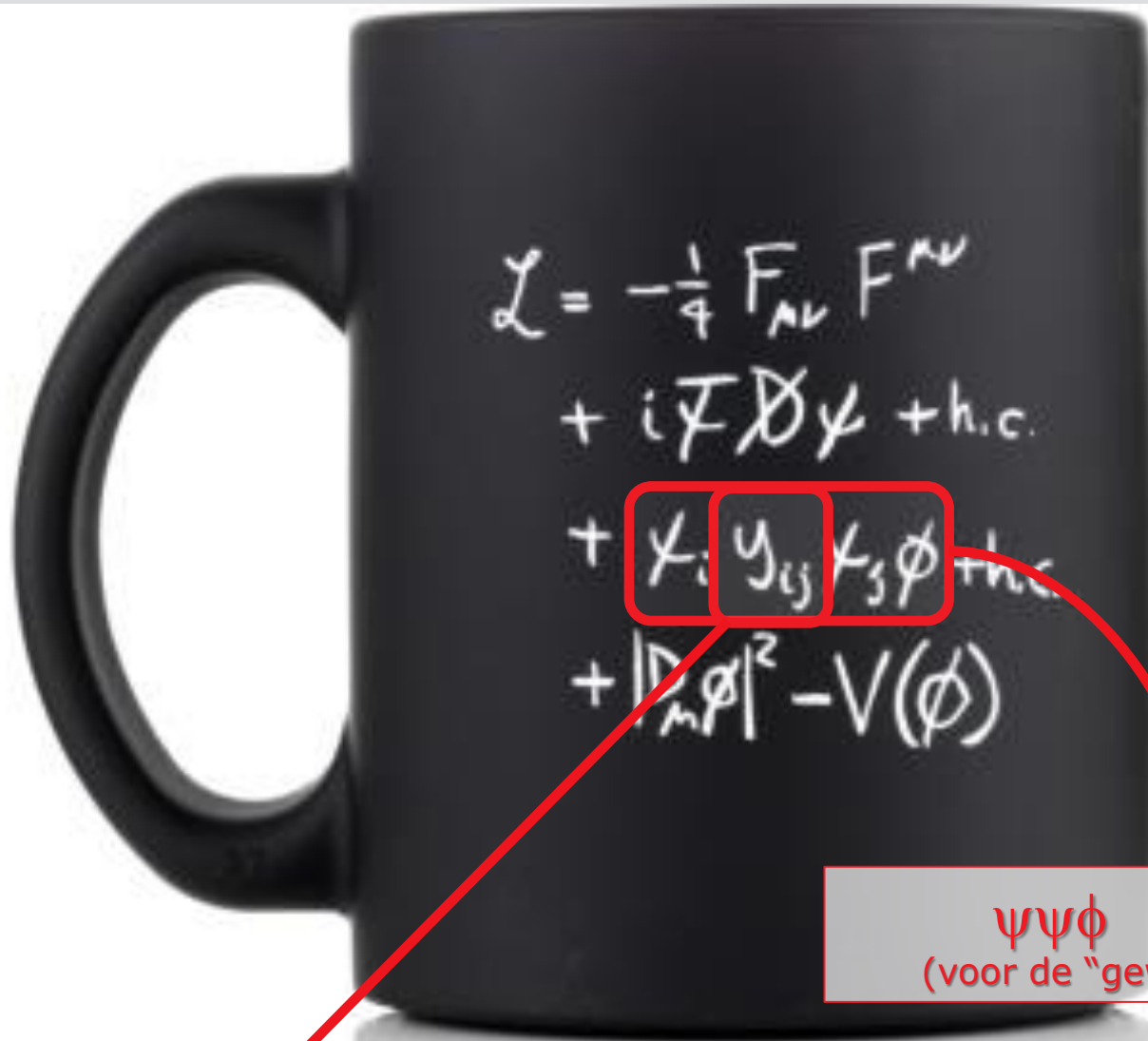




## Hoe de Higgs het *verschil* maakt



- Waarom is het Higgs deeltje zo bijzonder?
- De verdwenen anti-materie



$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + h.c. + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

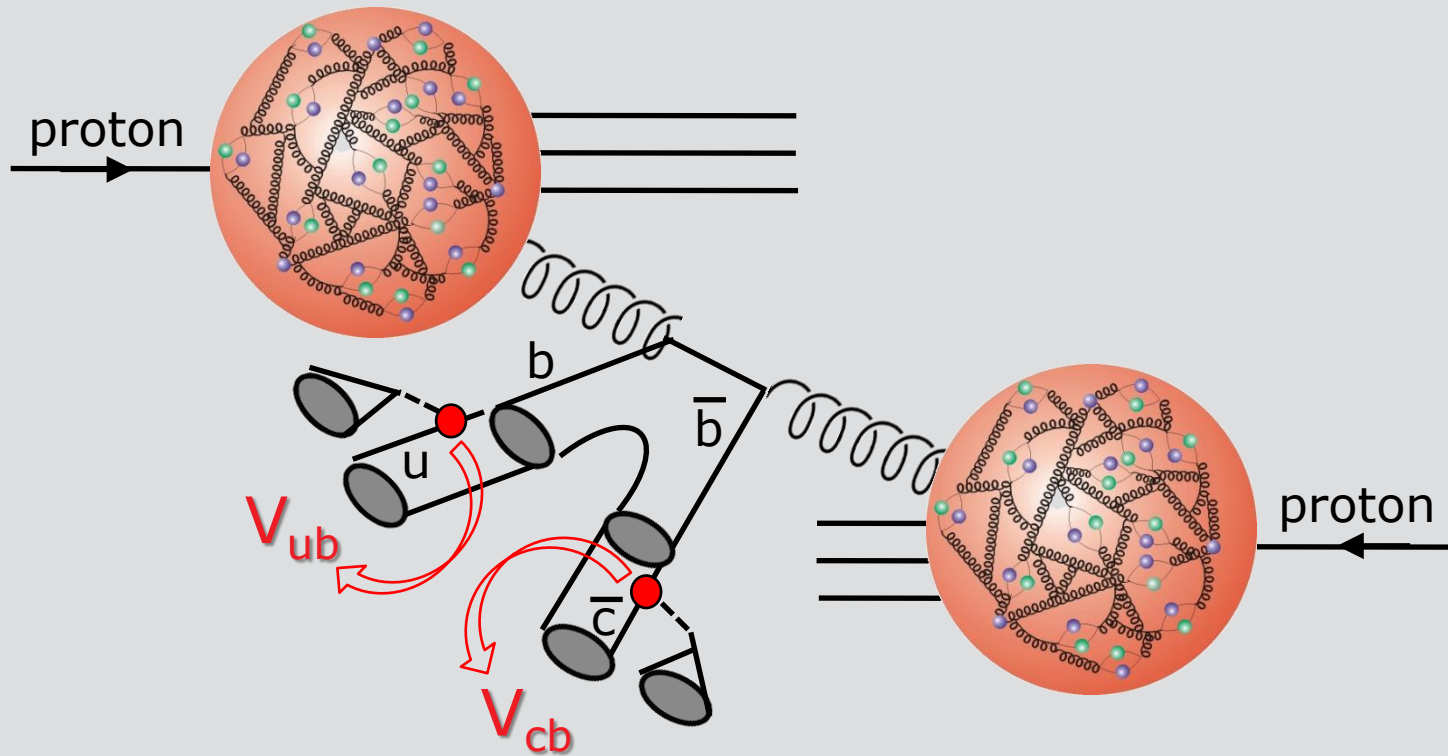
$\bar{\psi}\psi\phi$  **Massa**  
(voor de "gewone" deeltjes)

$Y_{ij}$  Verschil tussen materie en anti-materie!

## Hoe de Higgs het *verschil* maakt



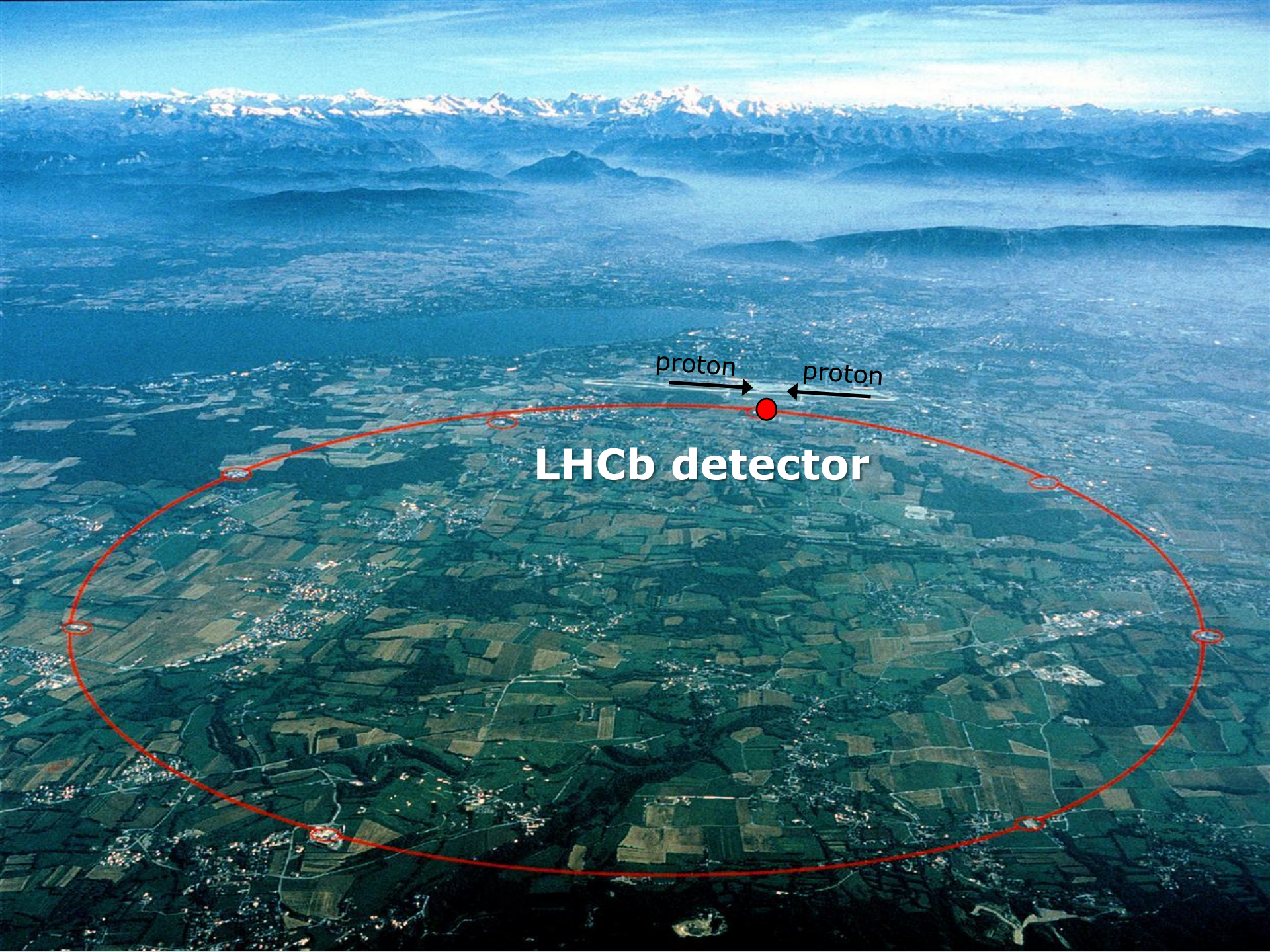
- Hoe onderzoeken wij dit verschil?



$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\
 & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\
 & + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} \\
 & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)
 \end{aligned}$$

$$Y_{ij} \rightarrow V_{cb}, V_{ub}$$

Verschil tussen materie en anti-materie

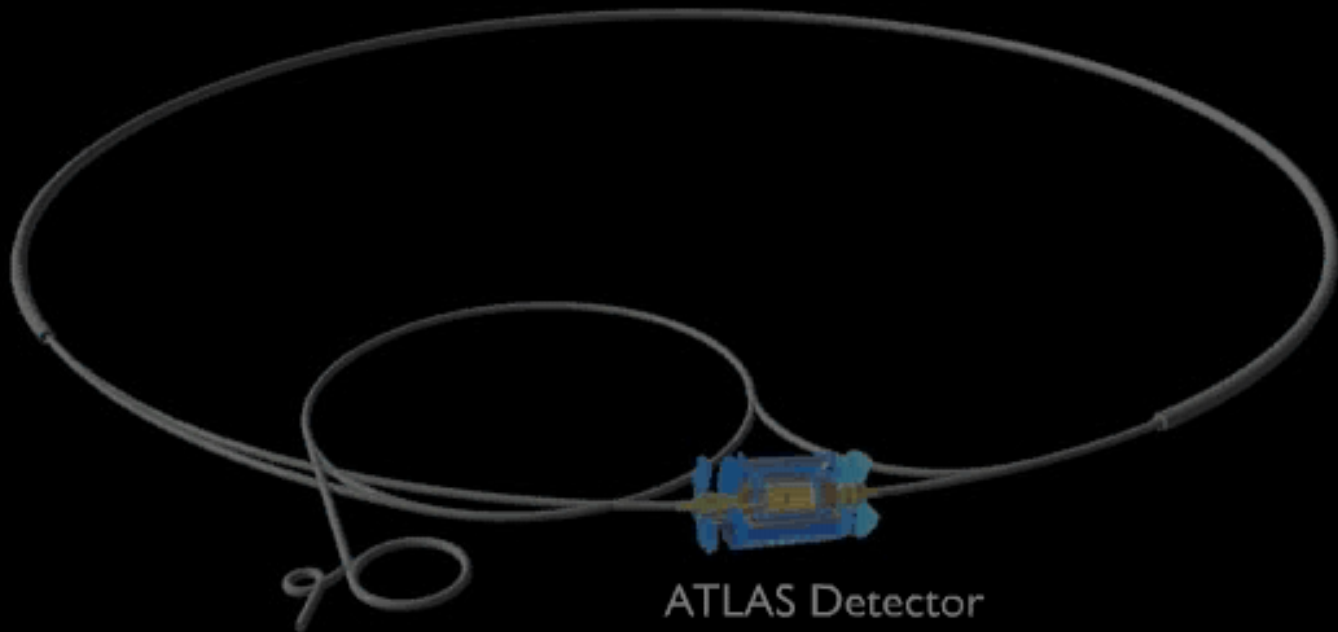


proton      proton

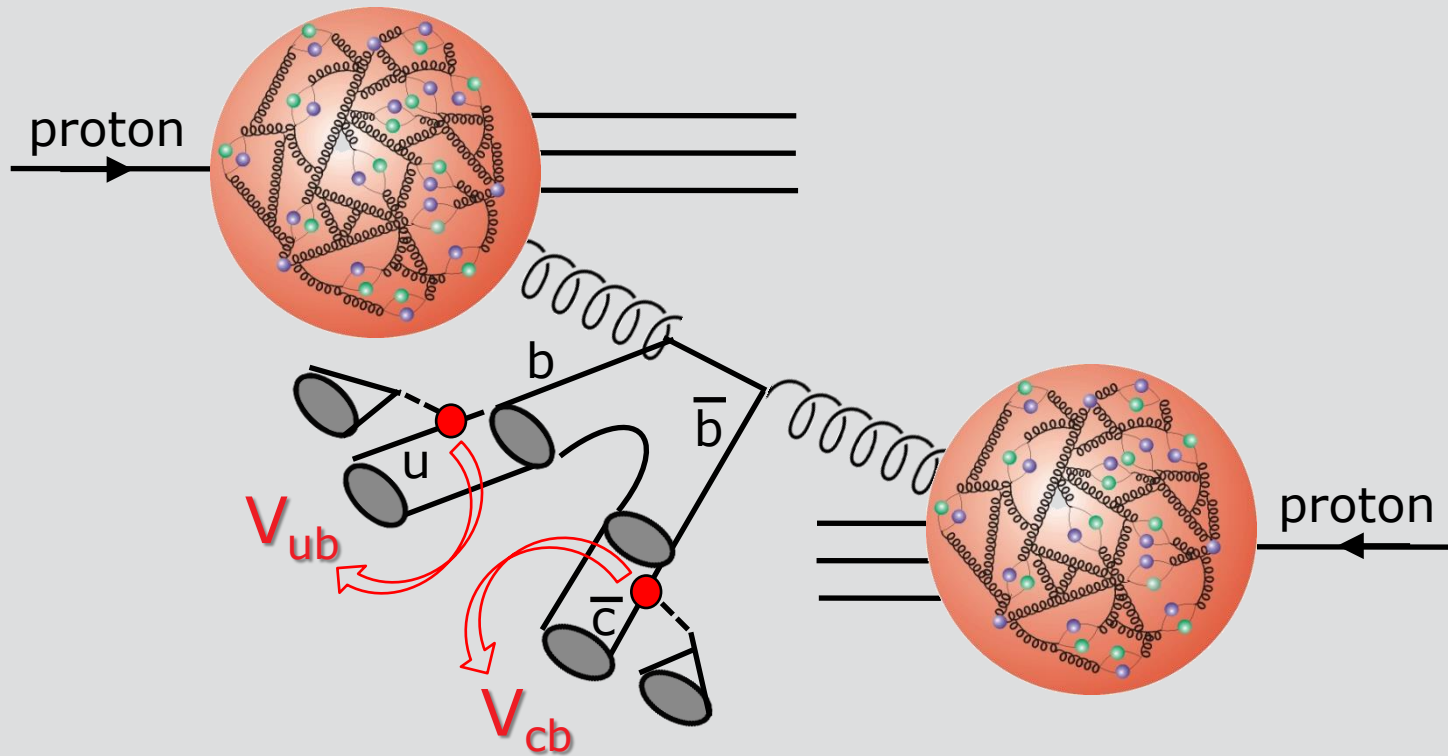
**LHCb detector**

PLAY ▶

Large Hadron Collider



ATLAS Detector



$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

$$Y_{ij} \rightarrow V_{cb}, V_{ub}$$

Verschil tussen materie en anti-materie

## Hoe de Higgs het *verschil* maakt

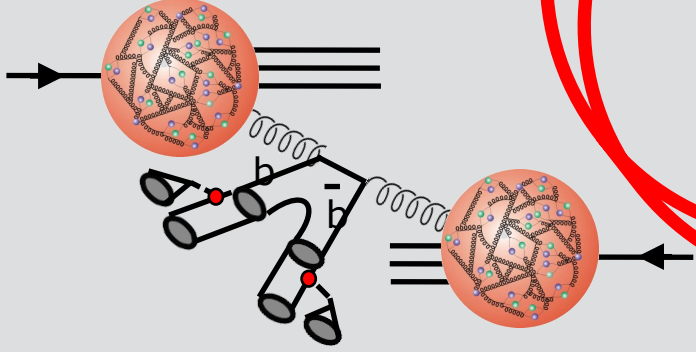
- Ontdekking van Higgs bevestigt wereldbeeld
- Higgs interactie bevat materie anti-materie verschil

**Niet genoeg!**

- Onderzoek naar nieuwe deeltjes om verschil in de kosmos te verklaren



# Bedankt



$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \bar{\psi}_i \gamma_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

