

A black background filled with white particle detector tracks. The tracks are a complex network of lines, some straight and some curved, with small circles and 'X' marks at various points, representing particle interactions and paths.

JCU @ CERN

11 nov 2014

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
- De LHCb detector

Kairo is synoniem met seksueel geweld

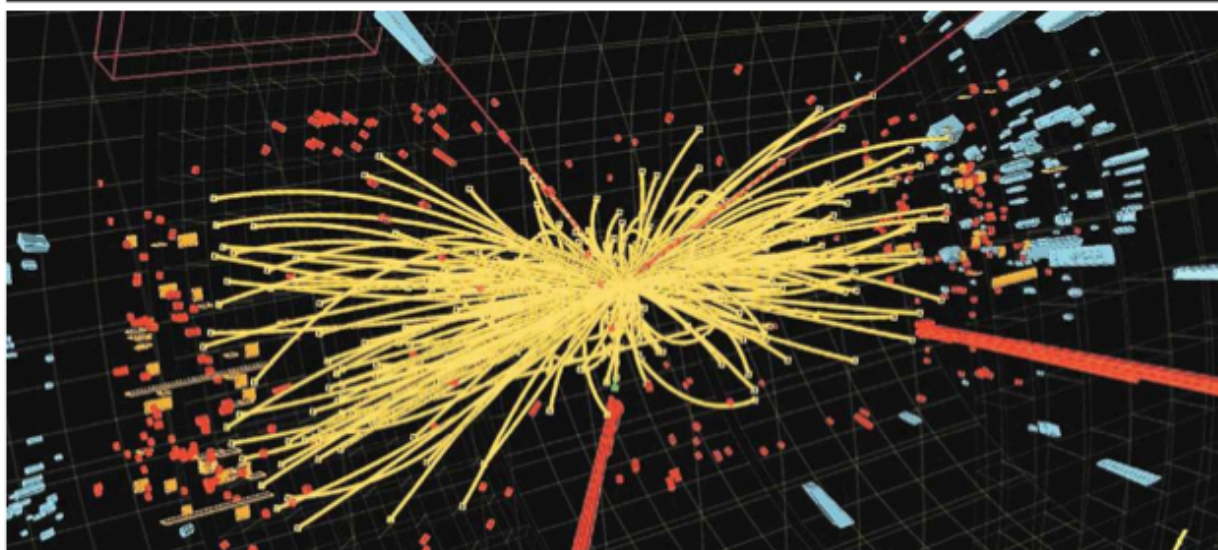
buitenland 10

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 ontlasting in de zaal bij het CERN, het deeltjesversnellerinstituut bij Genève. Het publiek van vooral natuurkundigen klappt en joelt.

Aanvankelijk aarzelend applaudisseren 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 oenvoudig. 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 hen 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 uitge-smeerde 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 turven en zware statistiek.

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

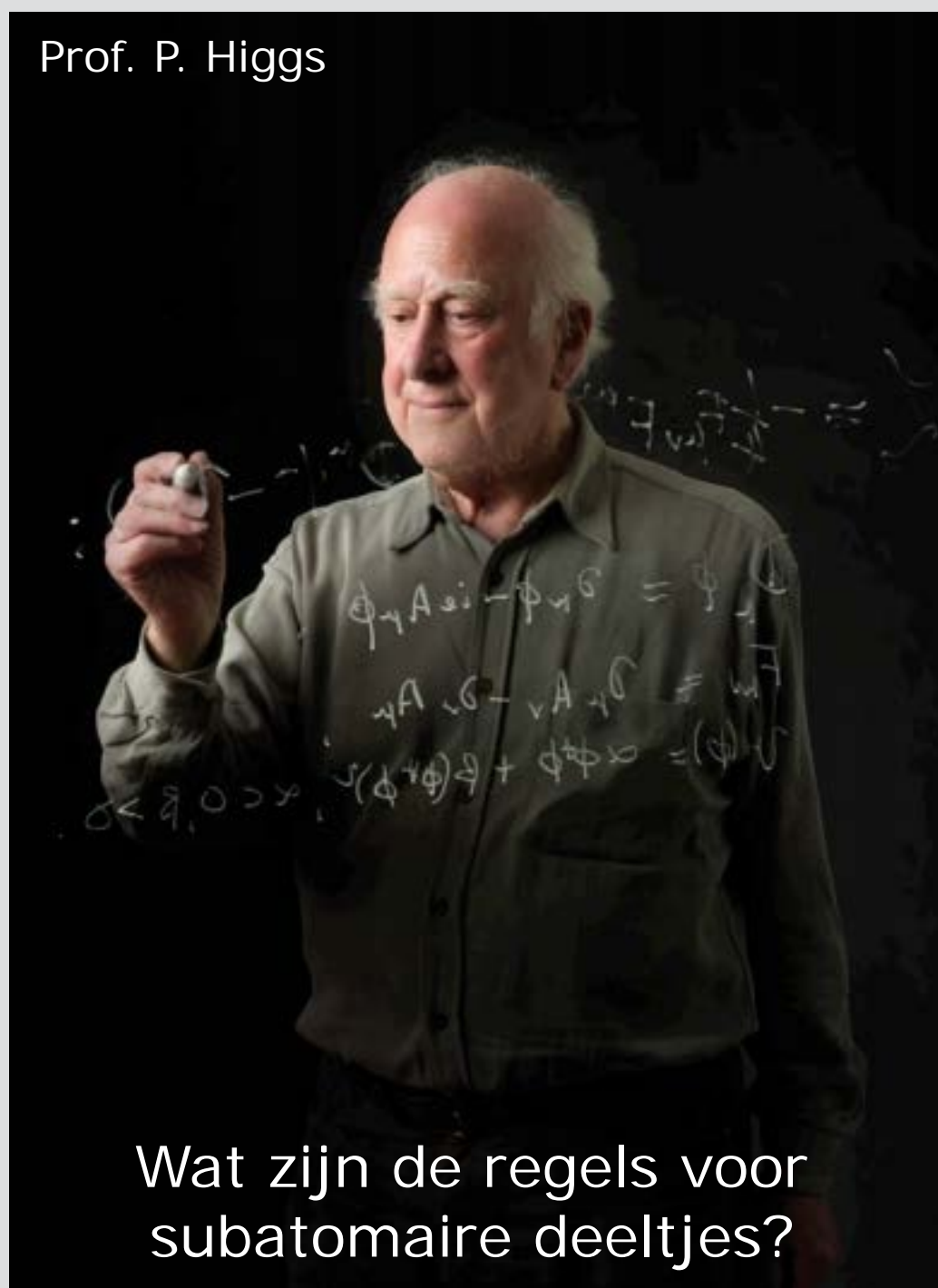
In het deeltjesjagen gaat het om de sigma-waarde: een statistische maat voor de kans dat de gevonden botsingen, ook al lijken ze op een nieuw deeltje, toch een toevallige uitschieter zijn. De afspraak is dat je een deeltje pas mag claimen bij een sigma van 5: de kans dat het om een toevallige

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.

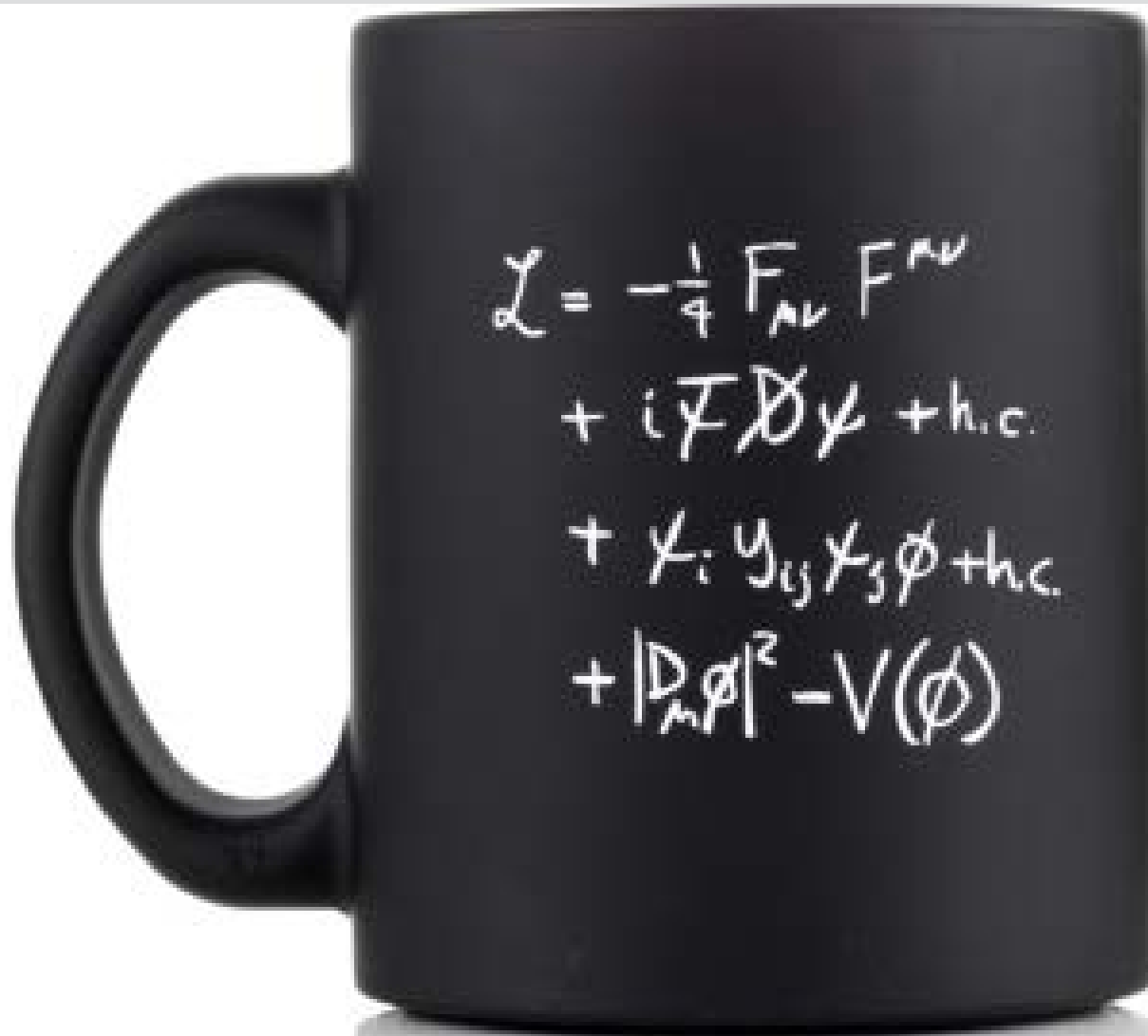
„Nu moeten we onderzoeken of het ook de Higgs is“, zegt Bentvelsen. Daar lijkt het wel op. „Al vervalt het wel iets vaker in twee fotonen dan je zou verwachten.“

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 ψ

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

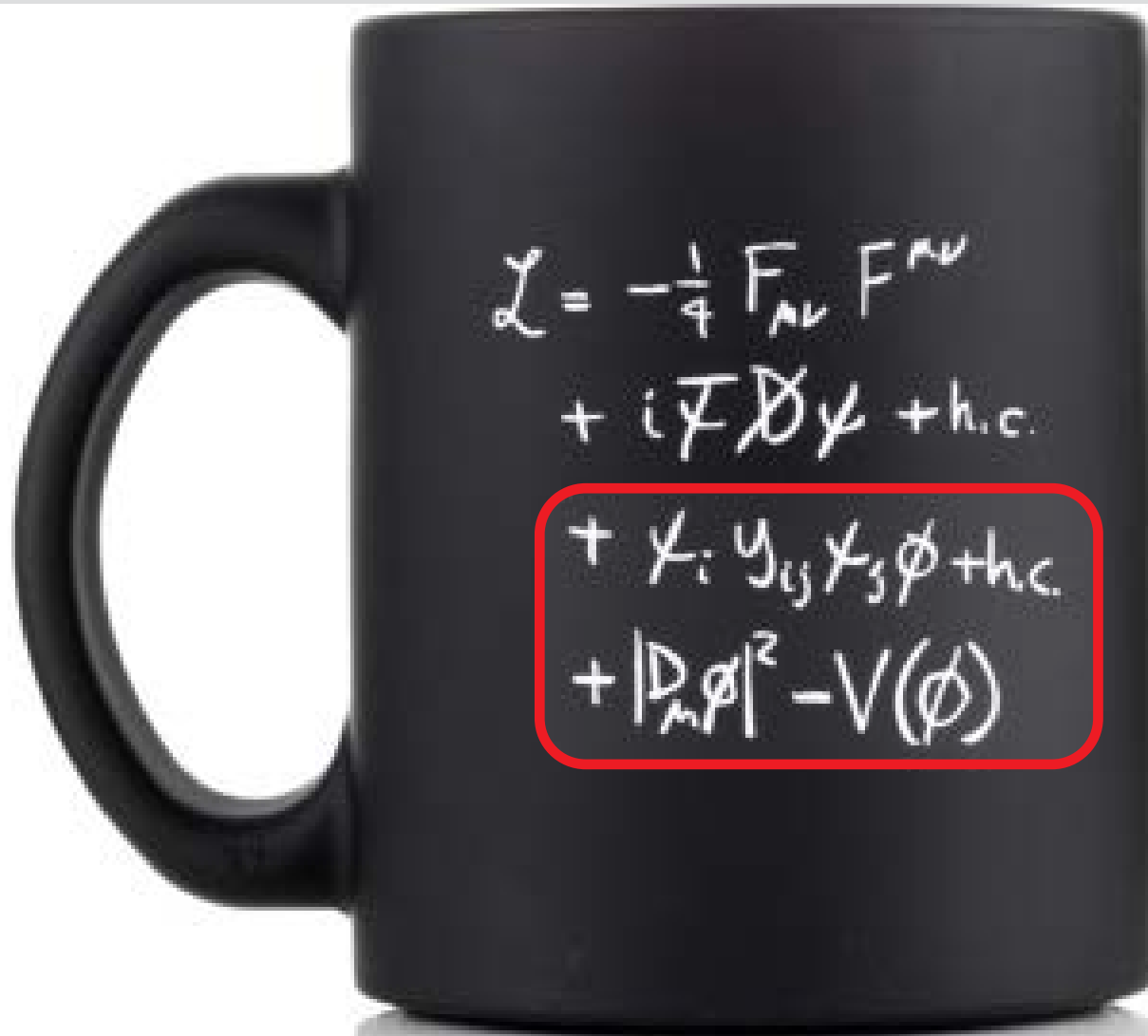
Interacties D

(hoe de deeltjes elkaar
"voelen")

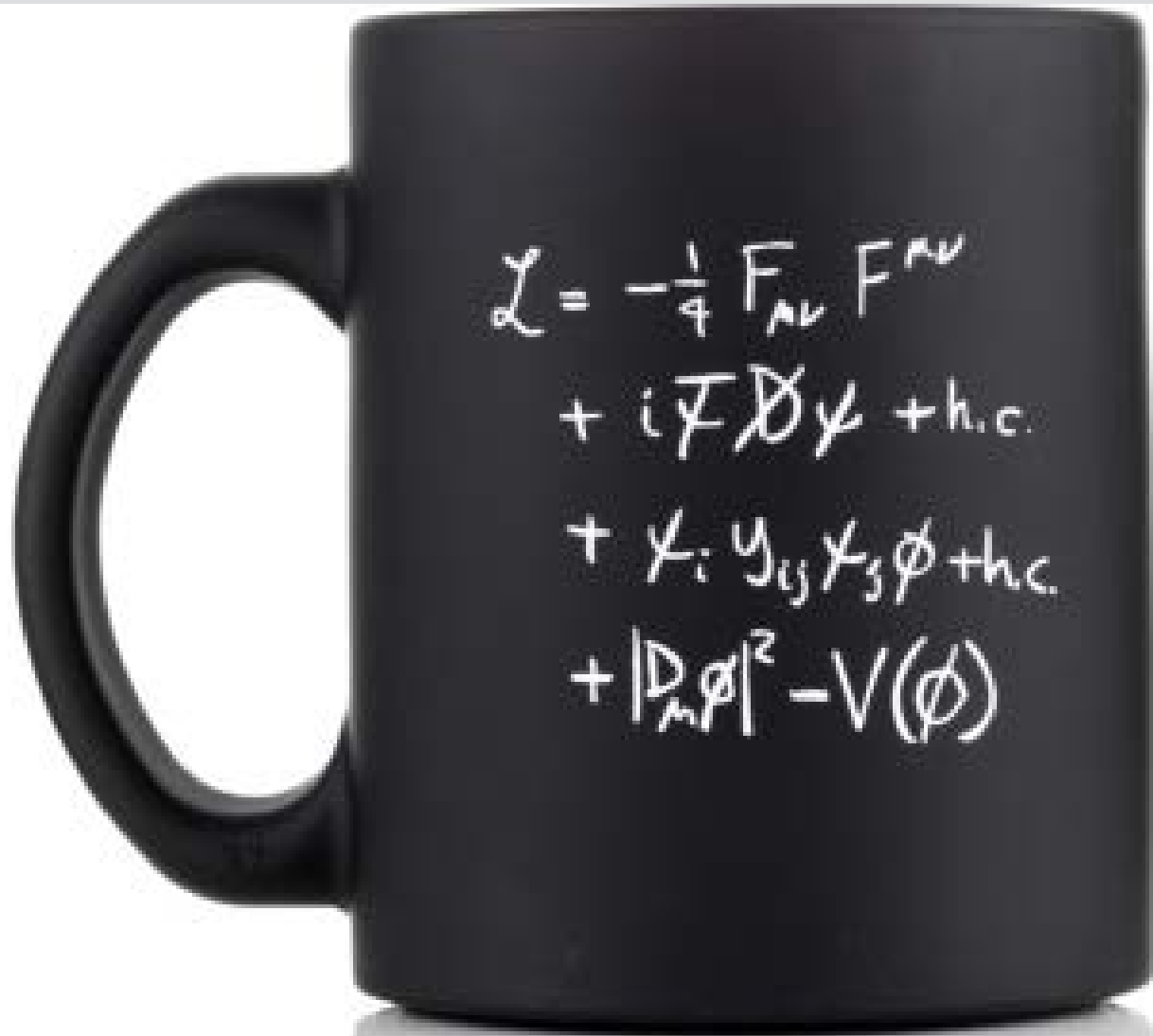
$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i \bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_{\mu} \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

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

ϕ **Higgs**



➤ Helft van de mok gaat over Higgs!

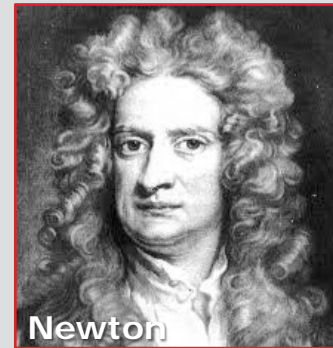


Te koop in de CERN winkel

Massa?

$$F = m \times a$$

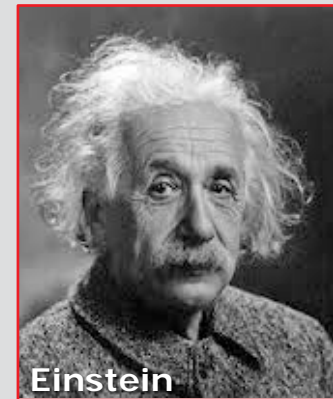
- Massa is “wisselkoers” tussen kracht en versnelling
Maar... wat *is* het?



Newton

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

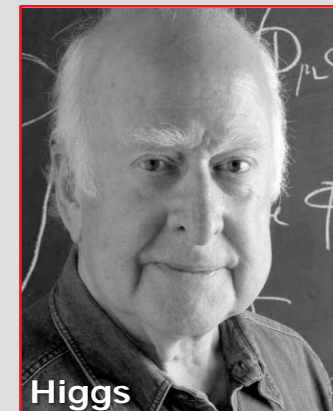
- Massa is energie
Maar... waar komt het *vandaan*?



Einstein

- Massa is wrijving met Higgs veld!

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



Higgs

*"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
- De LHCb detector

Waar is de anti-materie gebleven?



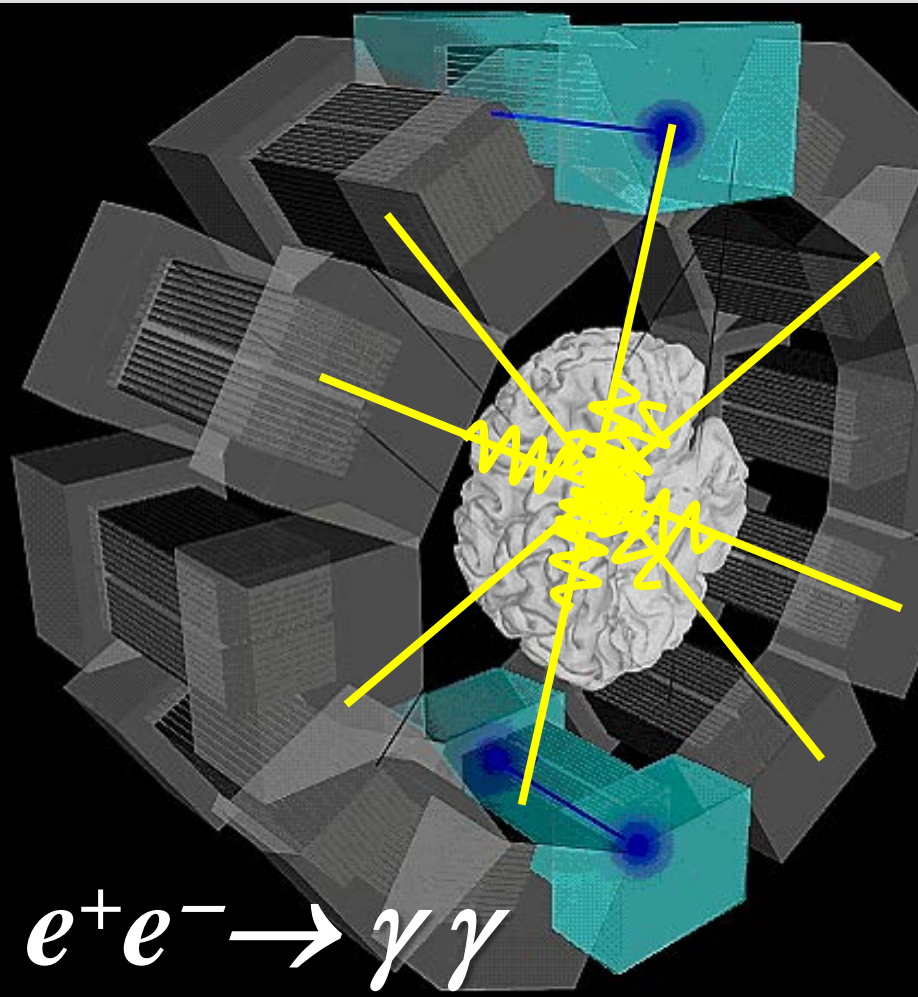
Anti-materie?

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



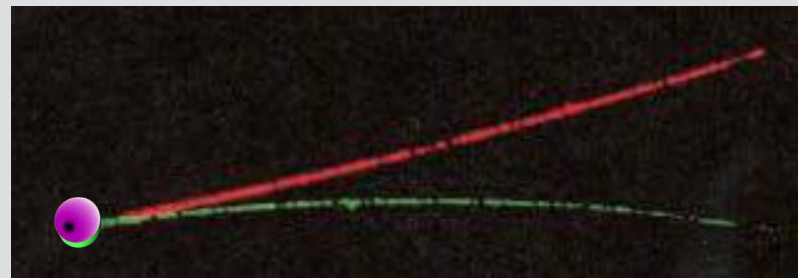
Anti-materie?

- 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:



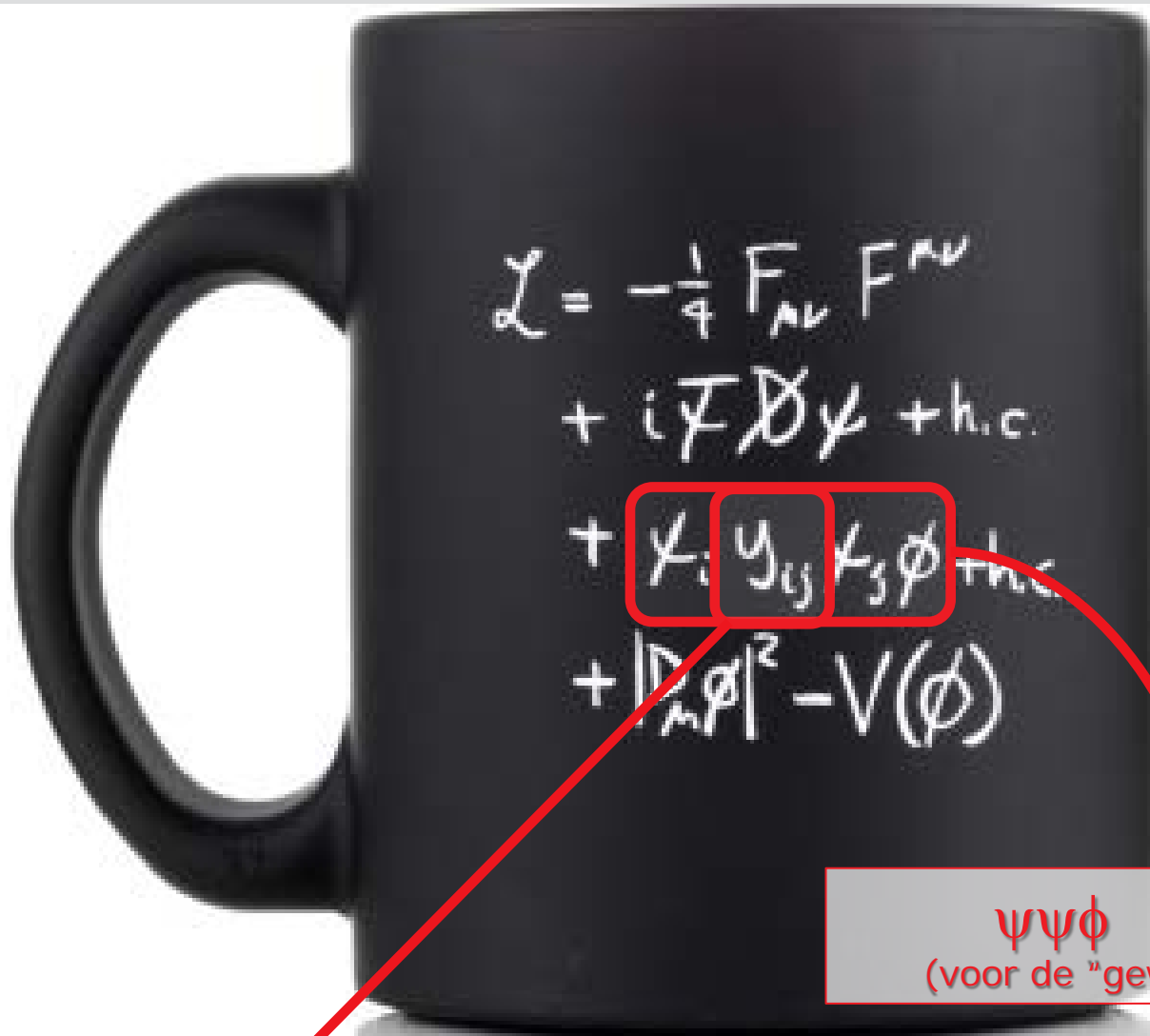
Waar is de anti-materie gebleven?



Hoe de Higgs het *verschil* maakt



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



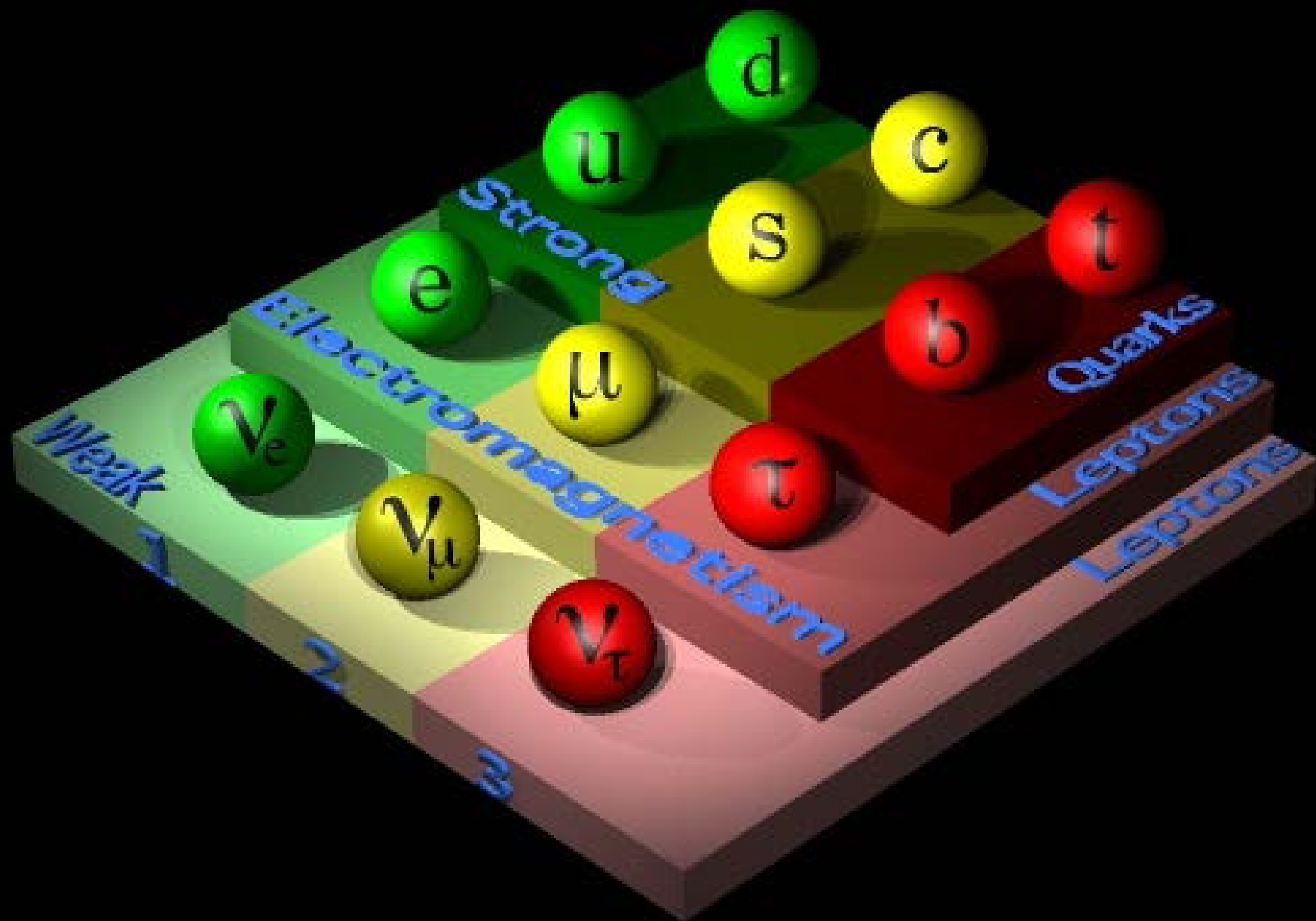
$\psi\psi\phi$ **Massa**
(voor de "gewone" deeltjes)

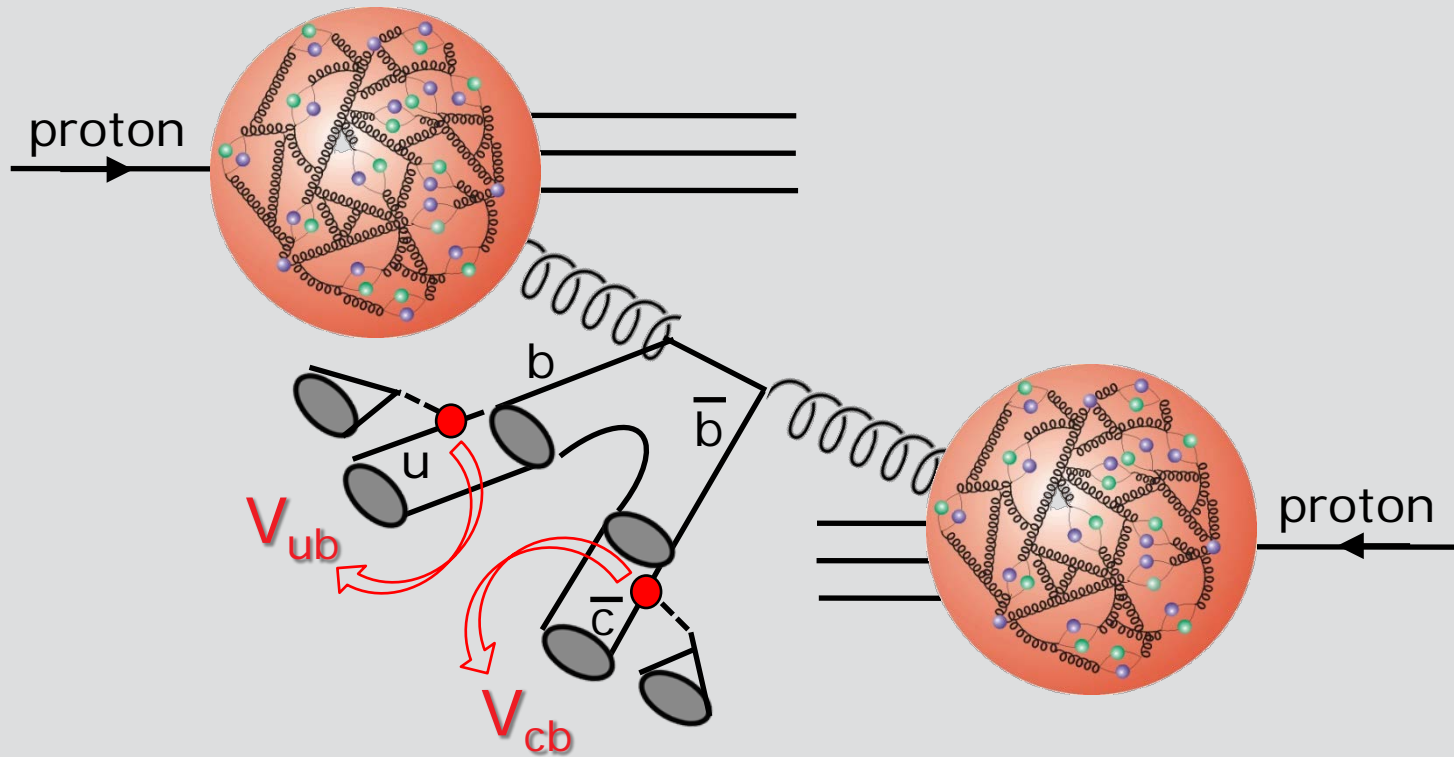
Y_{ij} Verschil tussen materie
en anti-materie!

Hoe de Higgs het *verschil* maakt



- Hoe onderzoeken wij dit verschil?

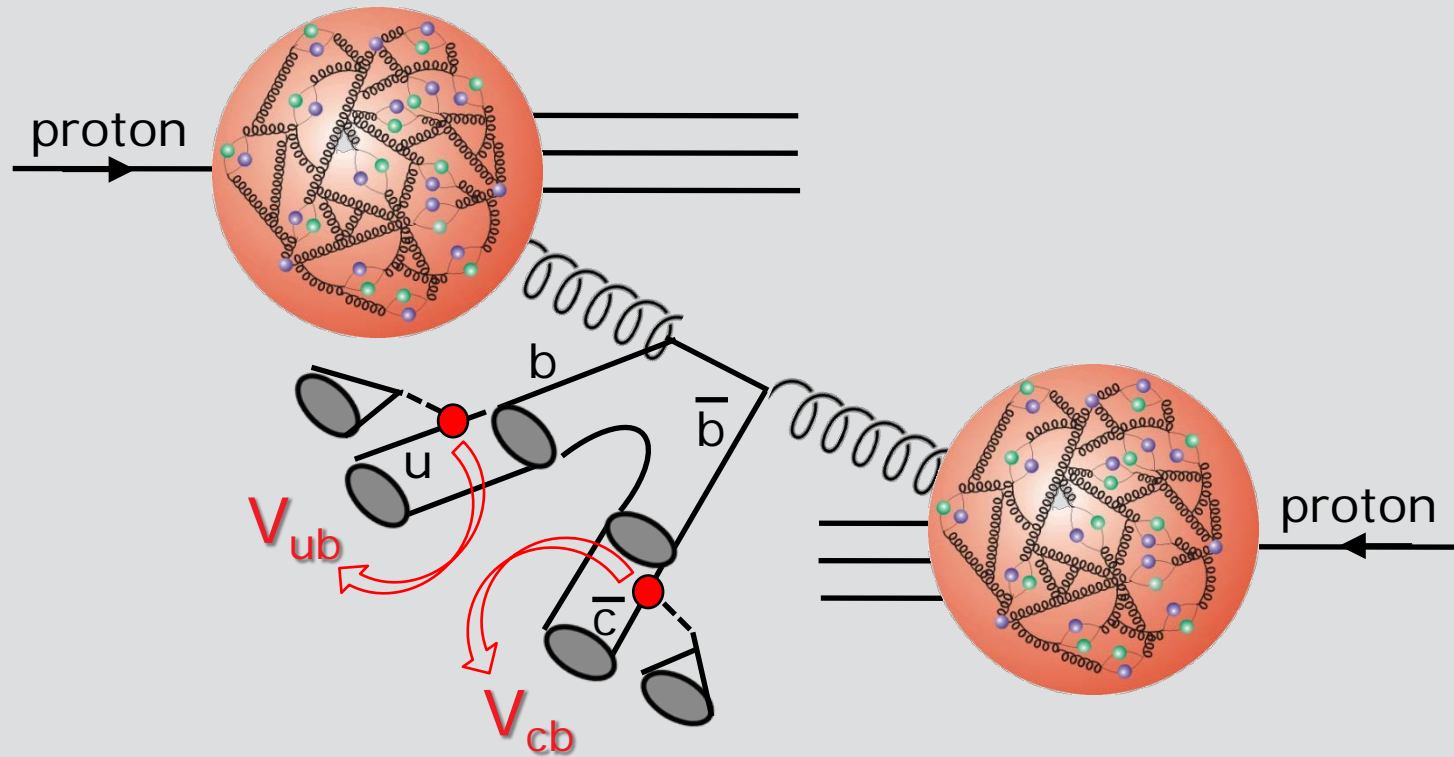




$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

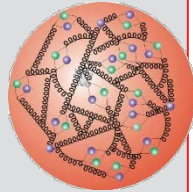
$$Y_{ij} \rightarrow V_{cb}, V_{ub}$$

Verschil tussen materie en anti-materie

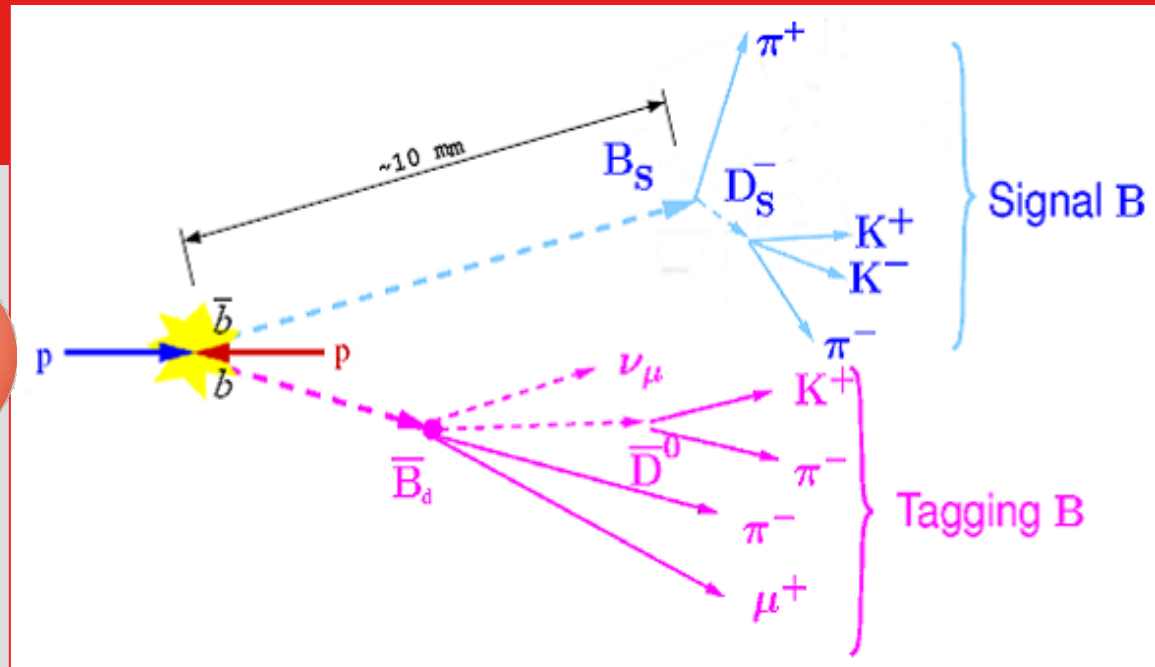


- Deeltjes met een "b" quark
- "bottom" of "beauty"
- De "b" in "LHC**b**"



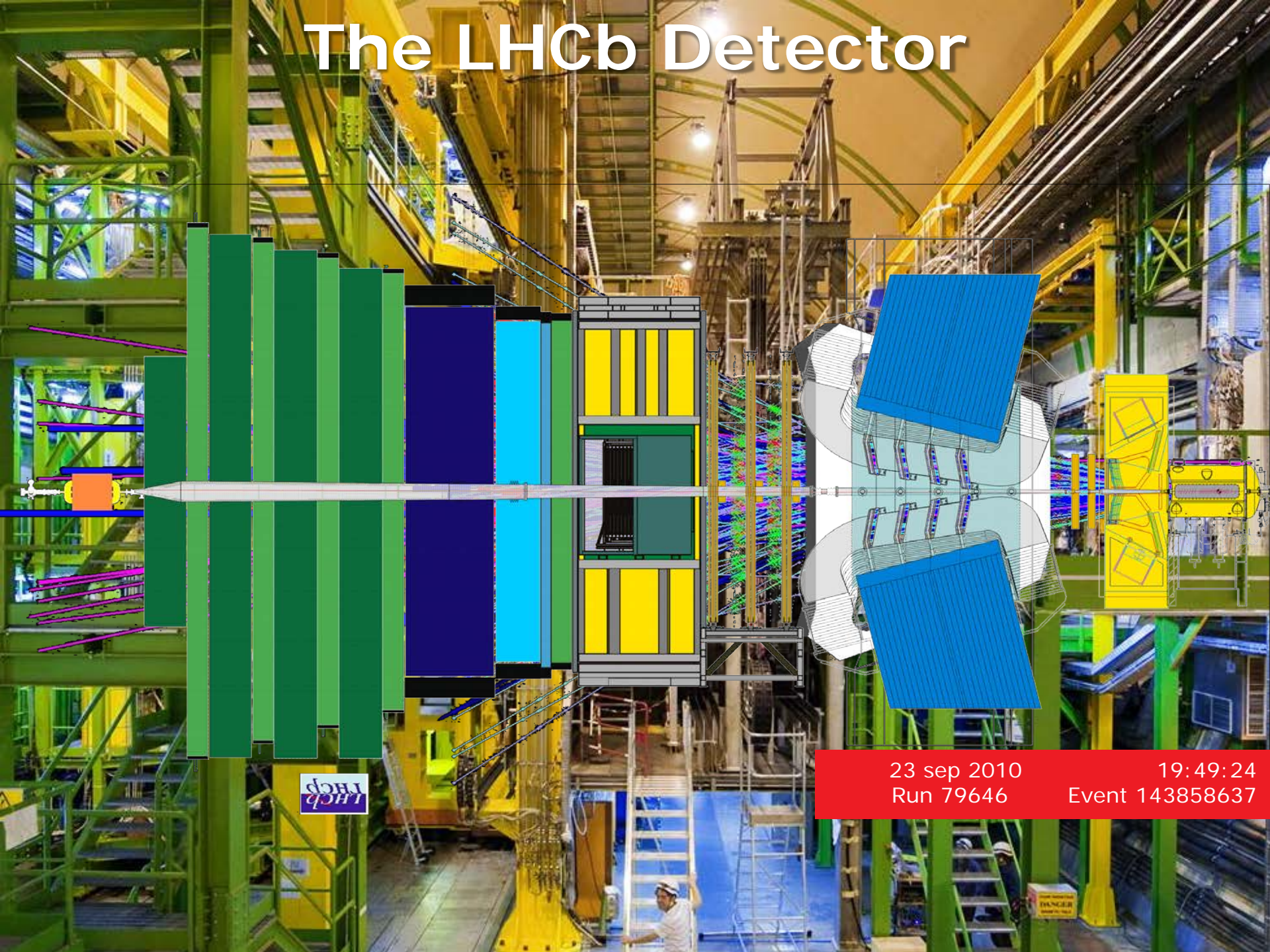


b quarks



- Relatief lang levend: wijst niet naar botsing
- Relatief lage massa: voorwaarts geproduceerd
- Veel vervalsmogelijkheden: veel detectoren

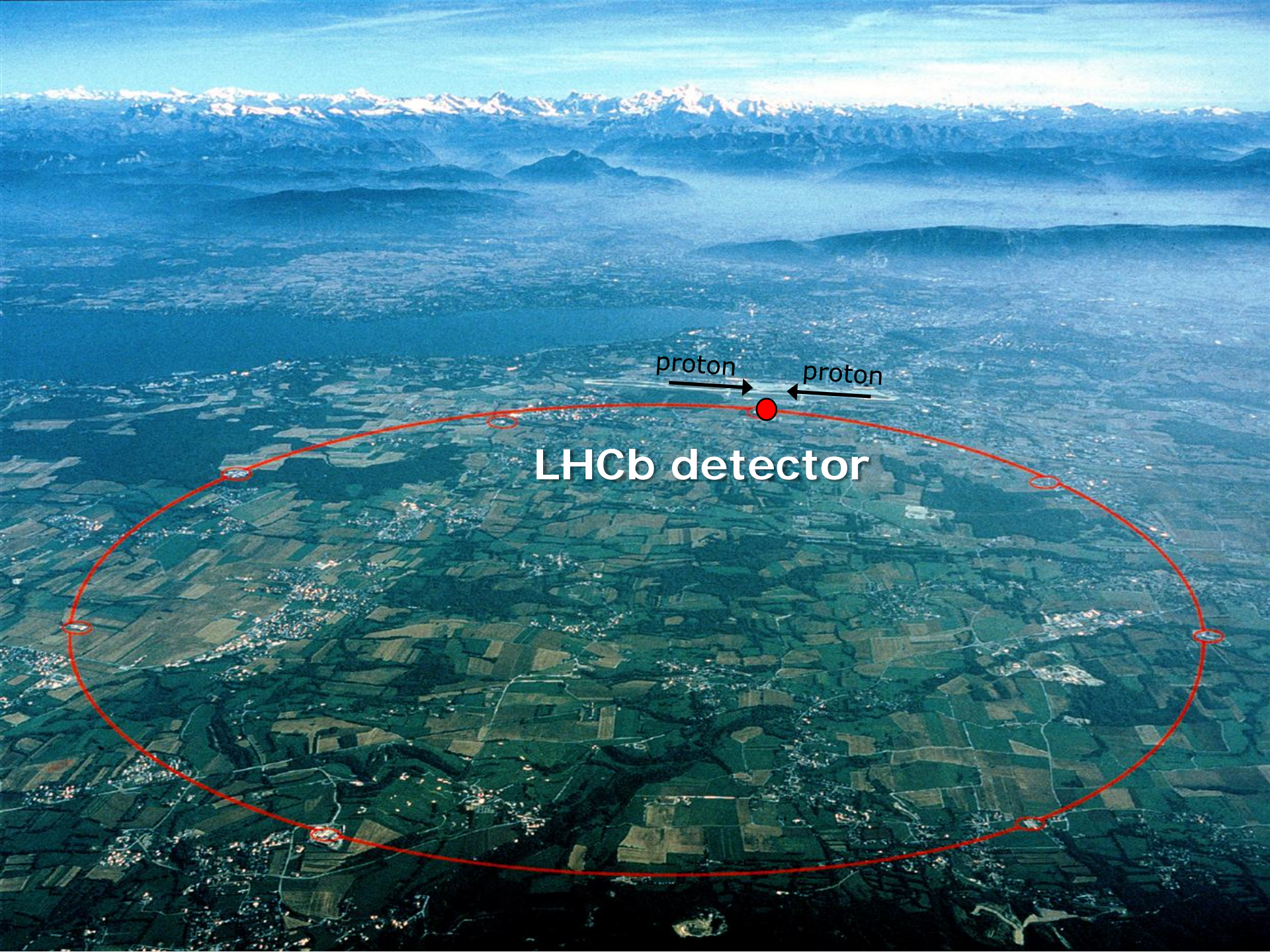
The LHCb Detector



23 sep 2010
Run 79646

19:49:24
Event 143858637

HAZARD
DANGER



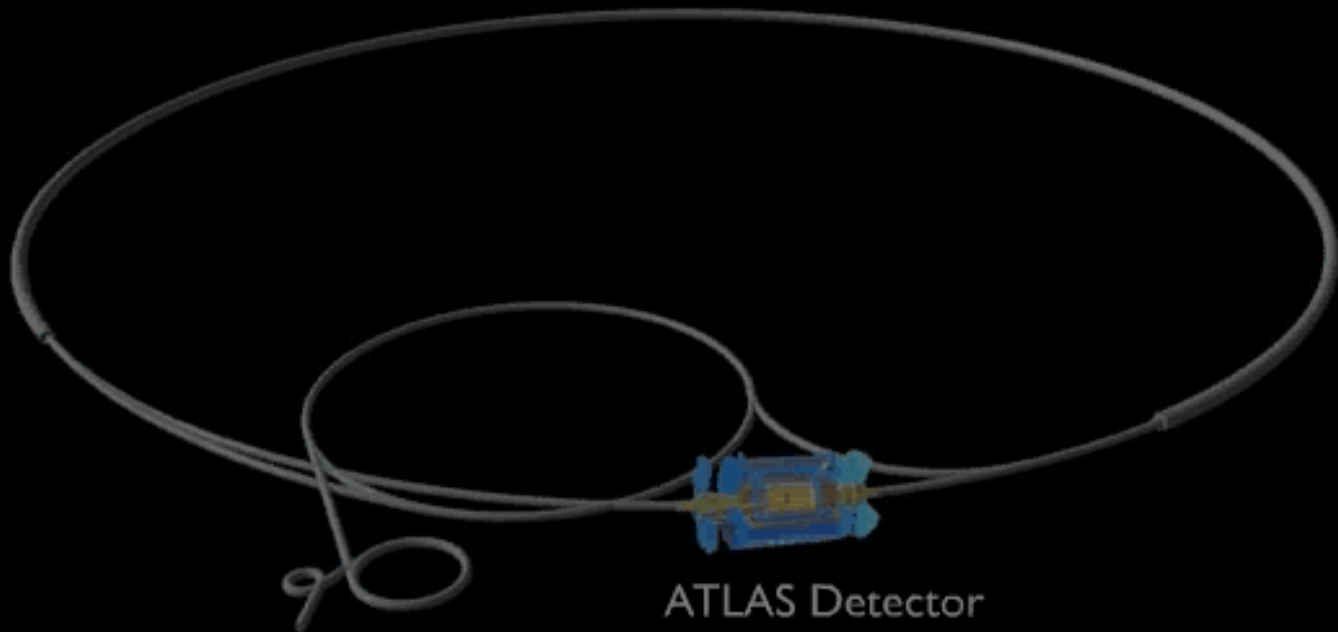
proton

proton

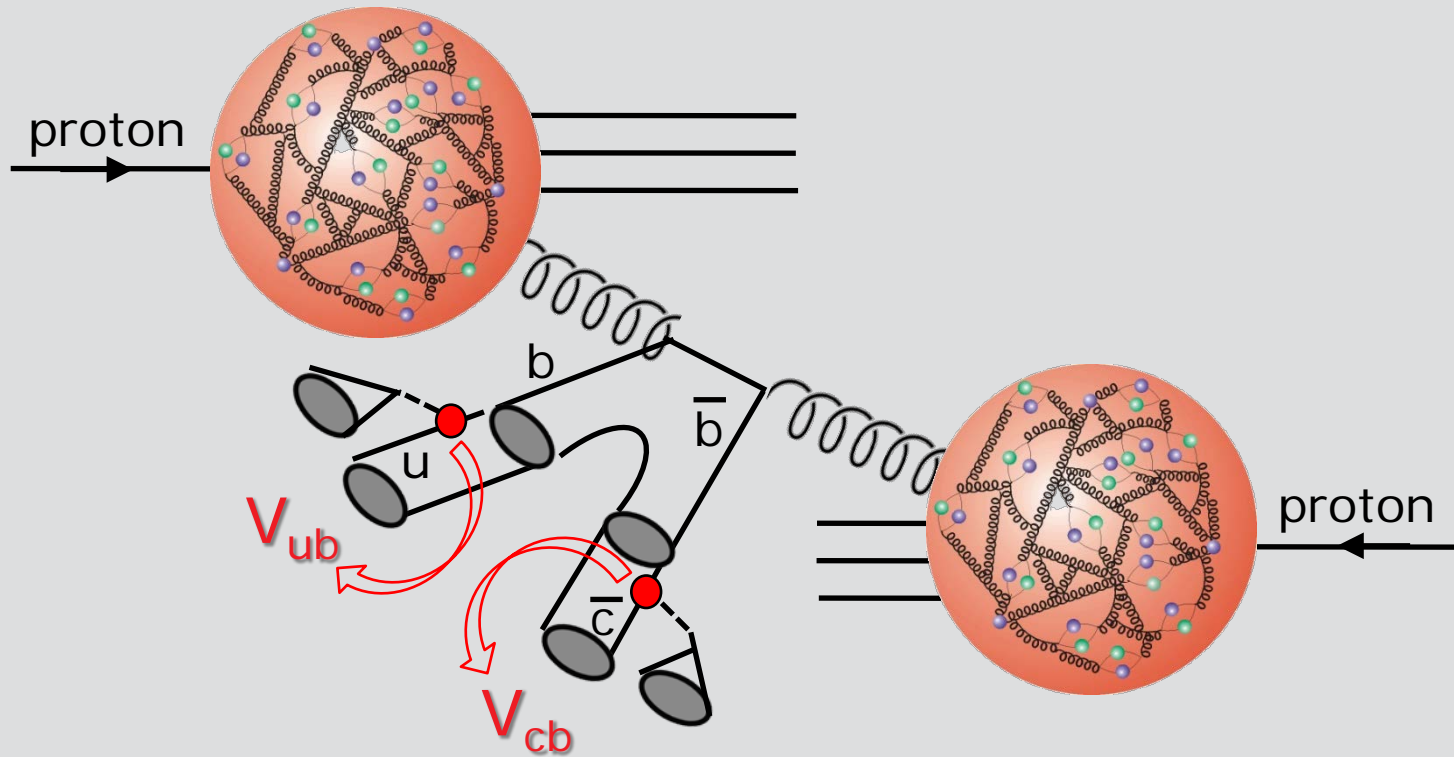
LHCb detector

PLAY ▶

Large Hadron Collider



ATLAS Detector



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

$Y_{ij} \rightarrow V_{cb}, V_{ub}$
 Verschil tussen materie en anti-materie

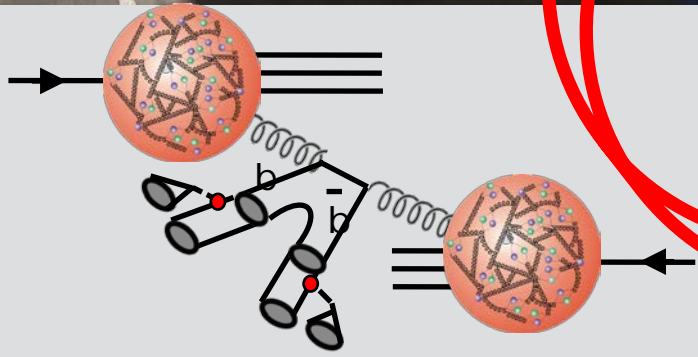
Hoe de Higgs het *verschil* maakt

- 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



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



?

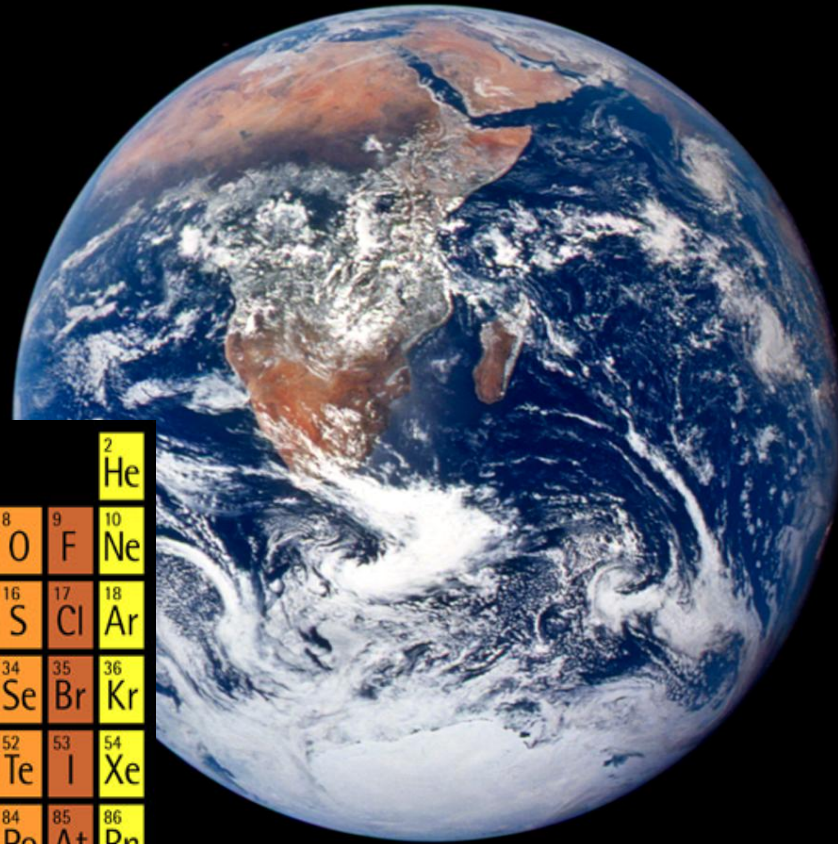
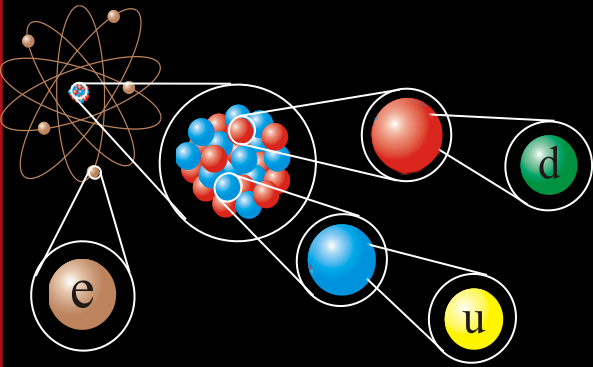


Vragen



Backup slides

Wat kan je maken van deze 3 bouwstenen?



periodiek systeem
van Mendeleev

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt									
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

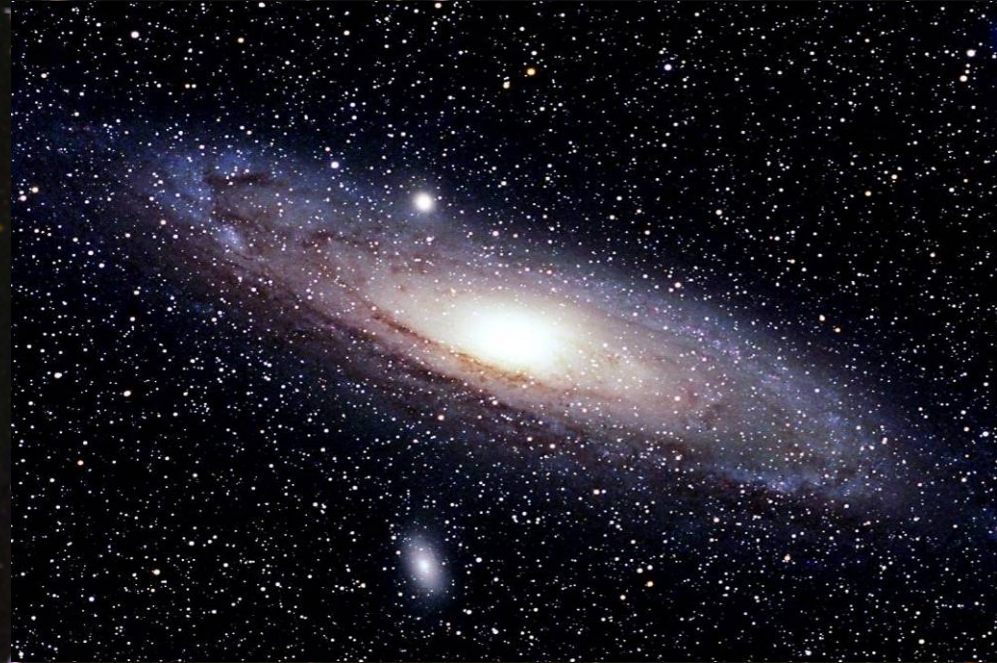
Alles!

Is dit alles?

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u (1976)	c (1976)	t (1995)	+2/3 e
	d (1947)	s (1947)	b (1978)	-1/3 e
leptons	e (1895)	μ (1936)	τ (1973)	-1 e
	ν_e (1956)	ν_μ (1963)	ν_τ (2000)	0 e

Materie



De elementaire deeltjes

quarks

I	II	III	<u>Lading</u>
u (1976)	c (1976)	t (1995)	+2/3 e
d (1947)	s (1947)	b (1978)	-1/3 e

leptons

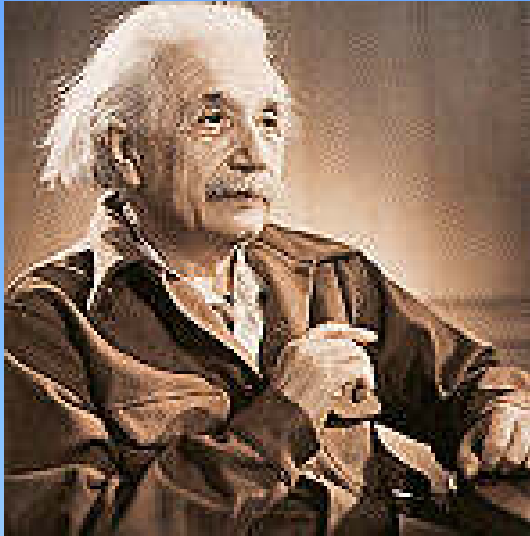
e (1895)	μ (1936)	τ (1973)	-1 e
ν_e (1956)	ν_μ (1963)	ν_τ (2000)	0 e

Materie

<u>Lading</u>	I	II	III
-2/3 e	ū	c̄	t̄
+1/3 e	d̄	s̄	b̄
+1 e	ē	μ̄	τ̄
0 e	ν̄_e	ν̄_μ	ν̄_τ

Anti-materie

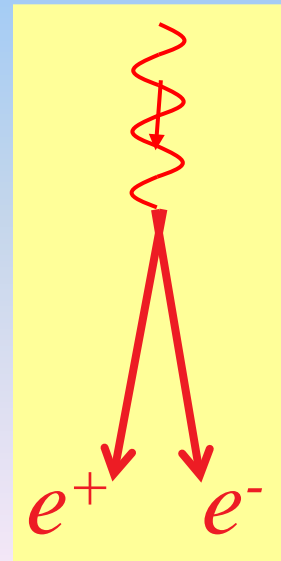
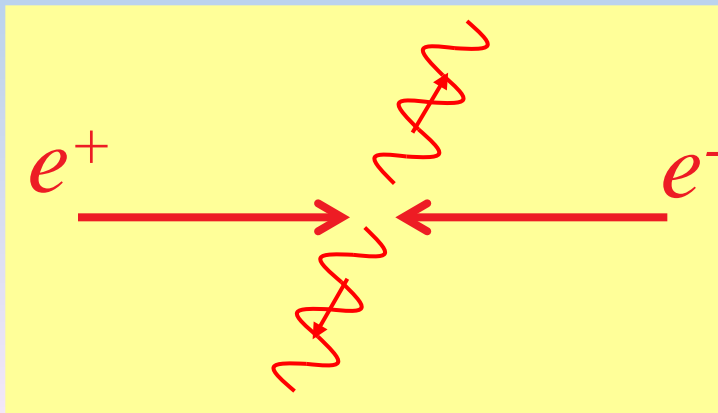
Hoe maak je anti-materie??



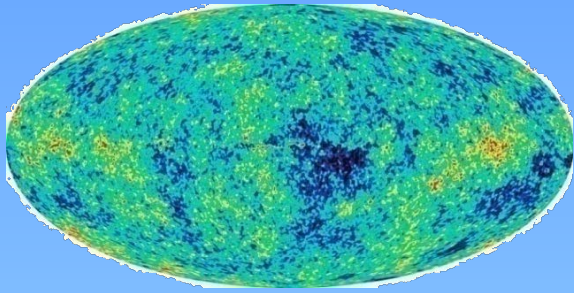
Albert Einstein:
 $E=mc^2$

materie + antimaterie = licht !

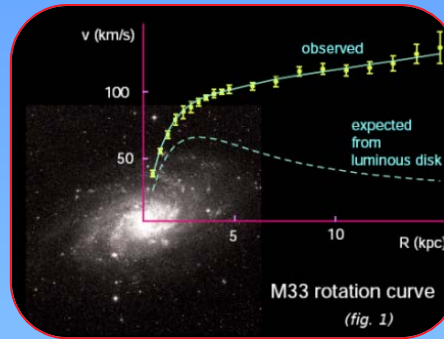
(en vice versa)



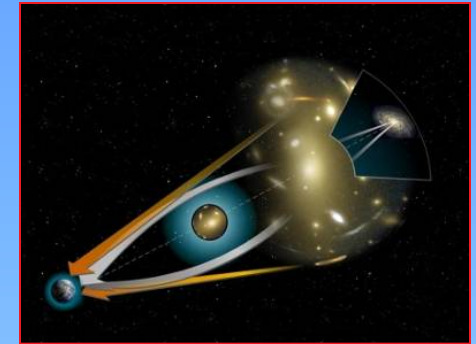
Wat snappen we nog meer niet? "Donkere materie"



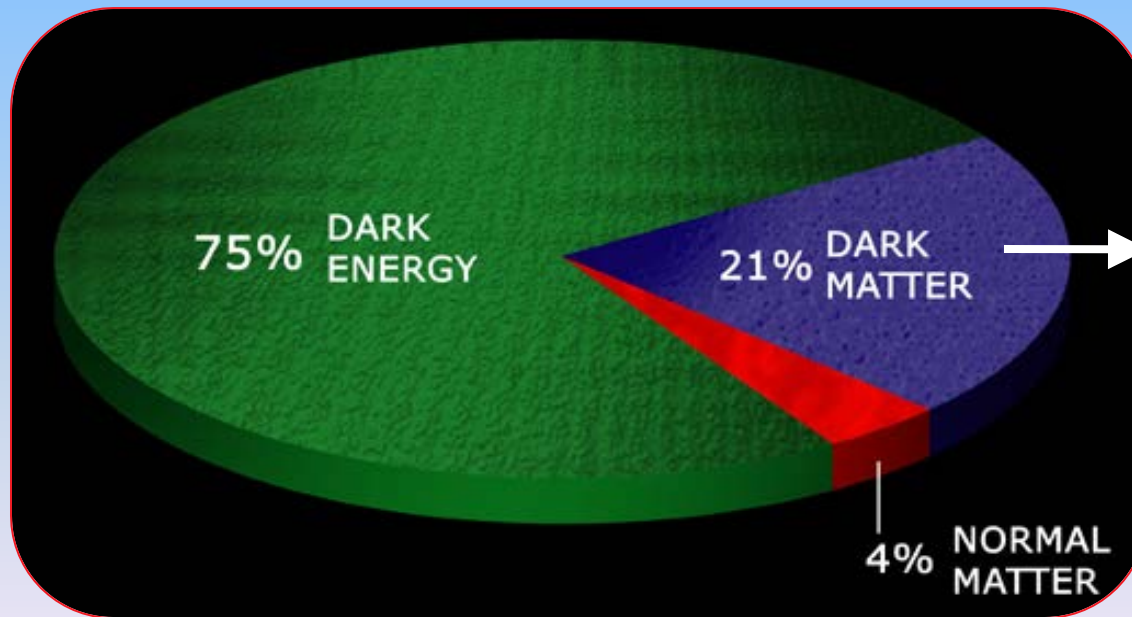
Temperatuurfluctuaties
structuur van het heelal



Rotatie-curves



Gravitationele lens



Wat is de
donkere materie ?

We hebben al die tijd maar 4% van het heelal bestudeerd!