



Waarom bestaat er iets in plaats van niets?

Marcel Merk, Triangulum, 2-6-2021

Nik|hef



*"Over Beauty-deeltjes, antimaterie
en een nieuwe natuurkracht"*



Waarom bestaat er iets in plaats van niets?

Marcel Merk, Triangulum, 2-6-2021

Nik|hef

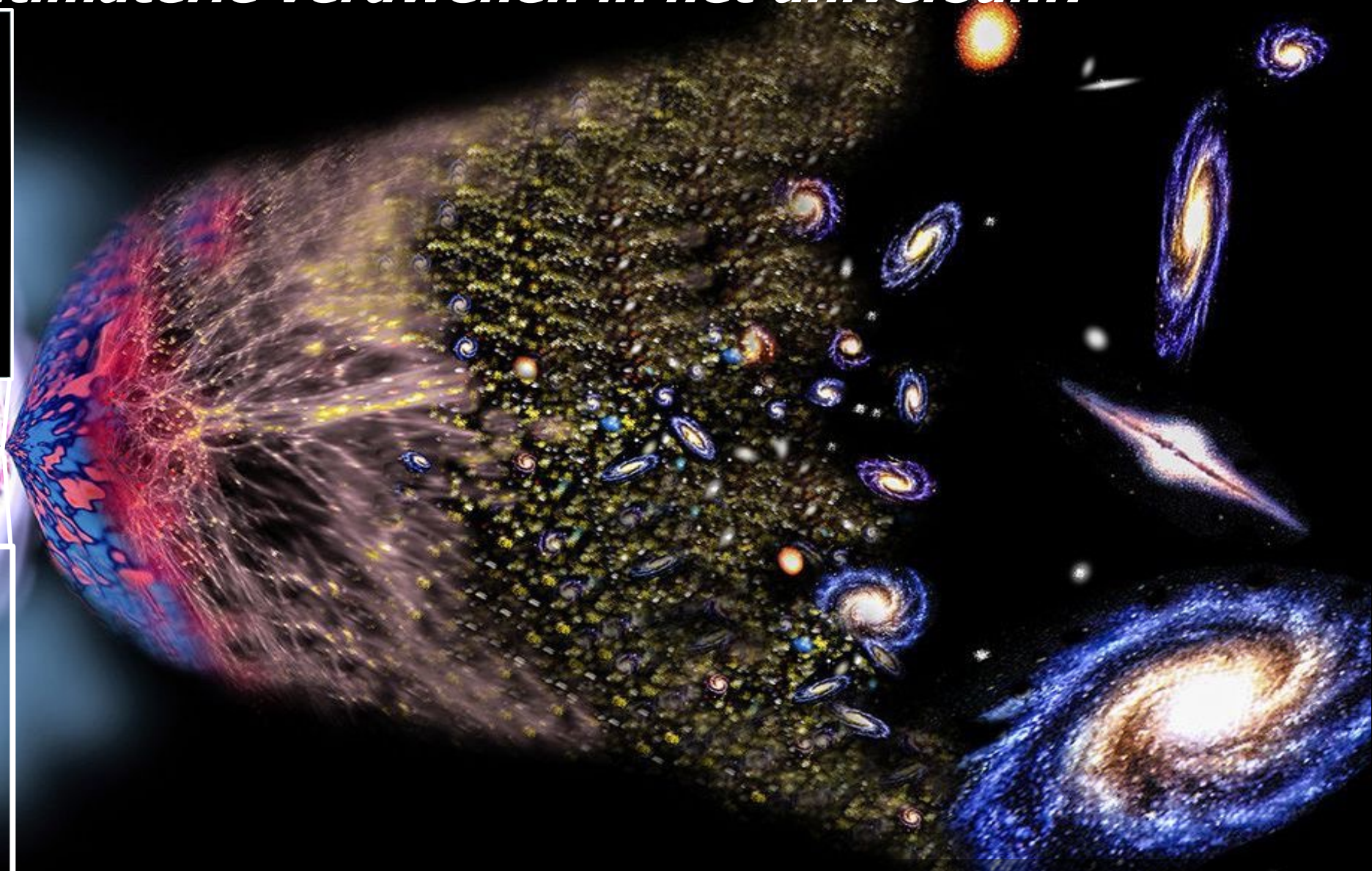
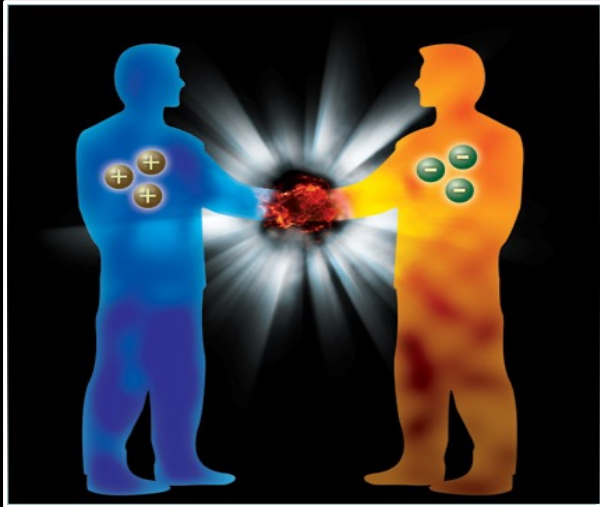


Inhoud:

- 1: Materie en antimaterie
- 2: Antimaterie en de Big Bang
- 3: Deeltjes en CERN
- 4: Krachten: het Standaard Model
- 5: Symmetrie in materie en antimaterie?
- 6: Universaliteit: een nieuwe natuurkracht?

*"Over Beauty-deeltjes, antimaterie
en een nieuwe natuurkracht"*

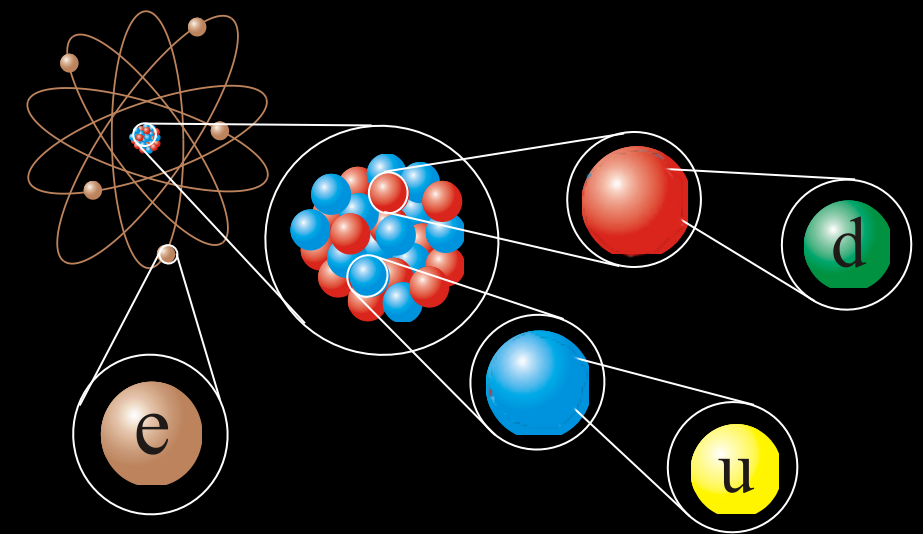
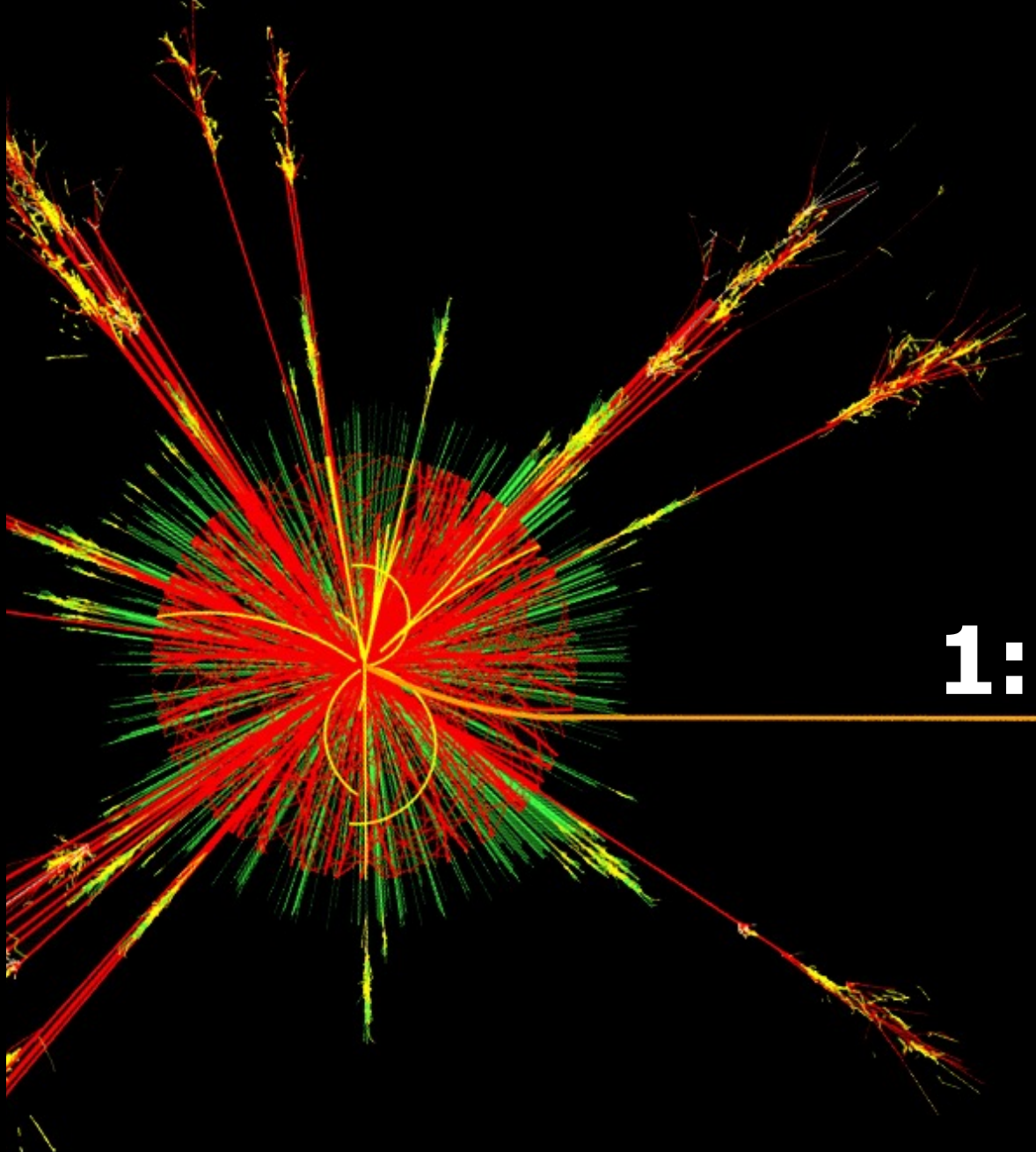
Hoe is de antimaterie verdwenen in het universum?



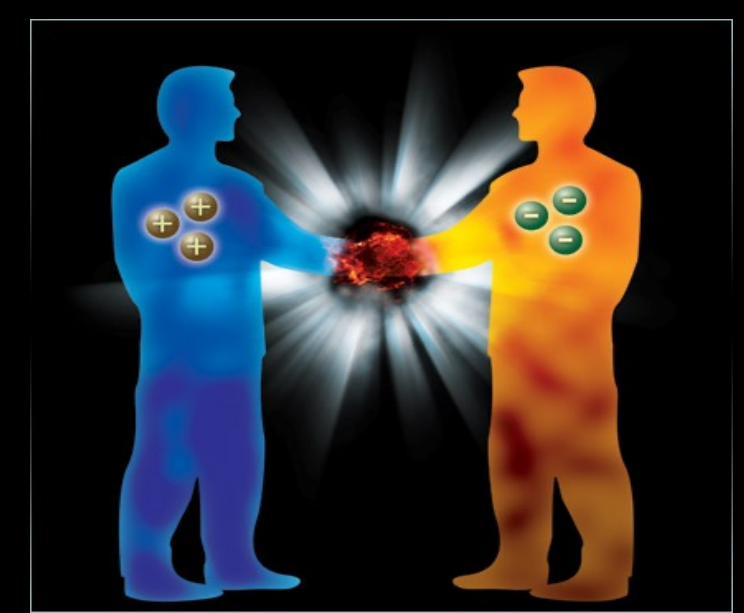
Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks			H	Krachten	
u	c	t		Z	γ
d	s	b	W	g	
1	2	3			
Leptonen					
ν_e	ν_μ	ν_τ			
e	μ	τ			

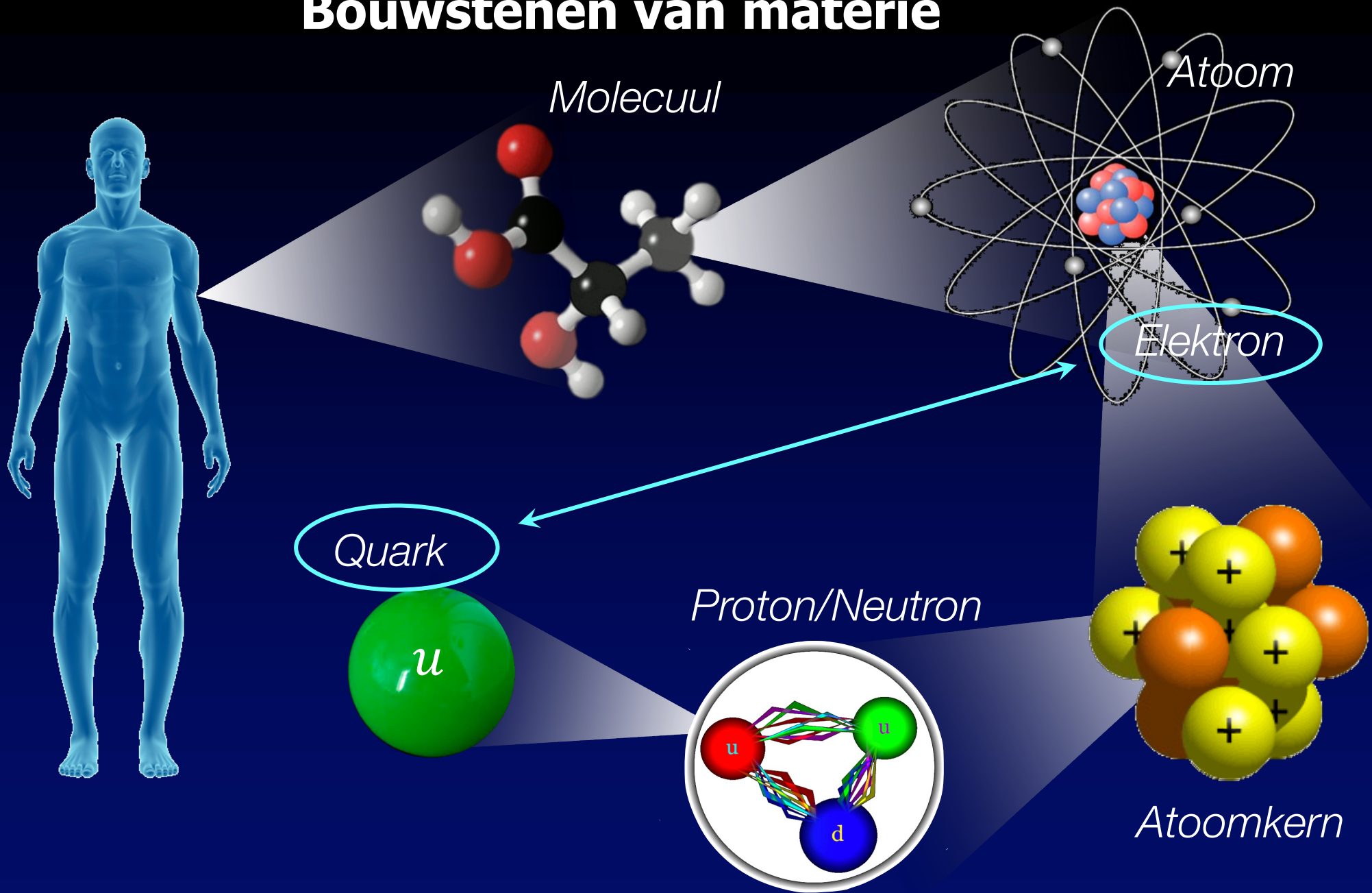
Flavor puzzle: waarom bestaan er drie generaties identieke deeltjes?



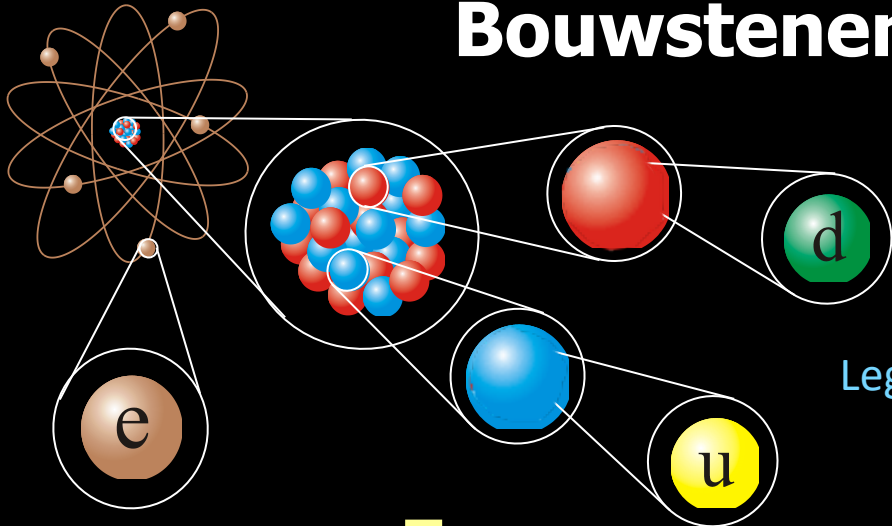
1: Materie en Antimaterie



Bouwstenen van materie



Bouwstenen van materie

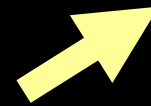


Lego blokken van de natuur



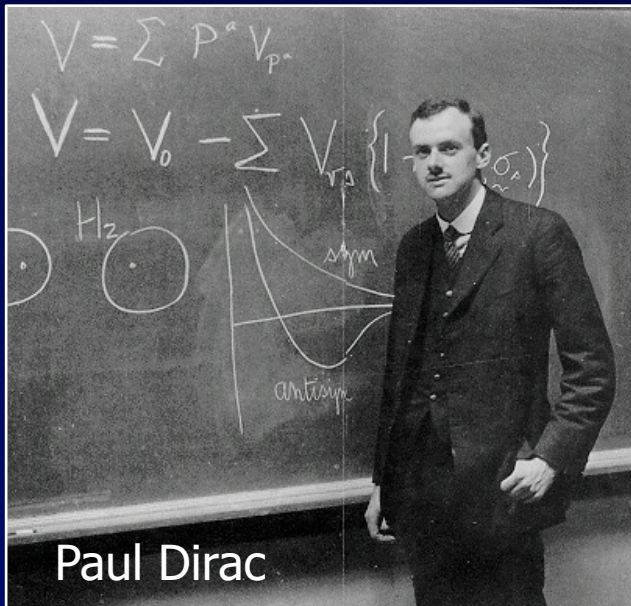
periodiek systeem

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	57 La	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	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt																							
																		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	71 Lu
																		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	103 Lr



Paul Dirac en antimaterie

- 1928:
 - Dirac's relativistische quantum theorie
 - Voorspelling: *voor elk type deeltje bestaat er een identiek anti-deeltje!*
- 1932:
 - Anderson ontdekt het anti-elektron



Paul Dirac



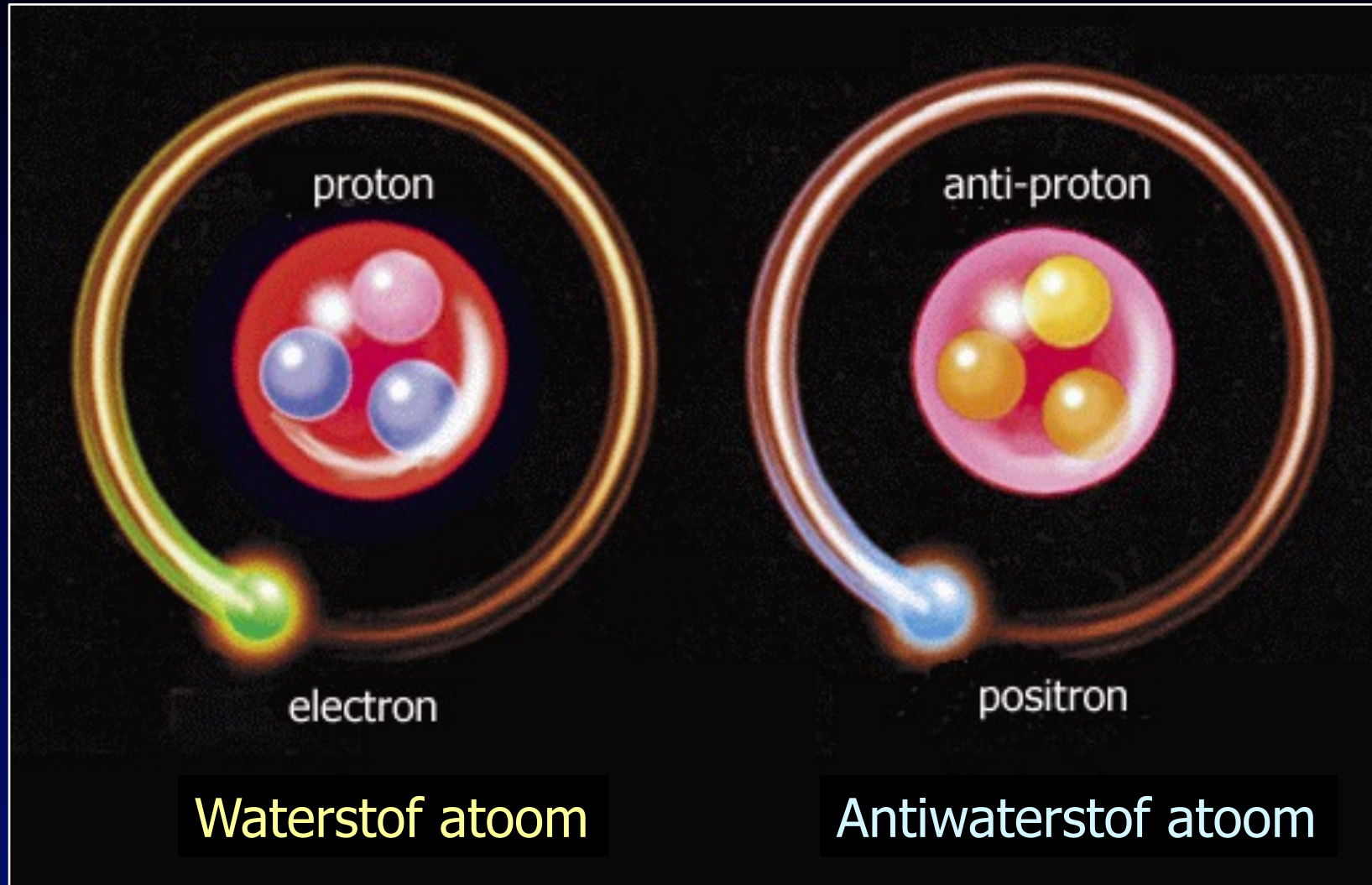
Carl Anderson



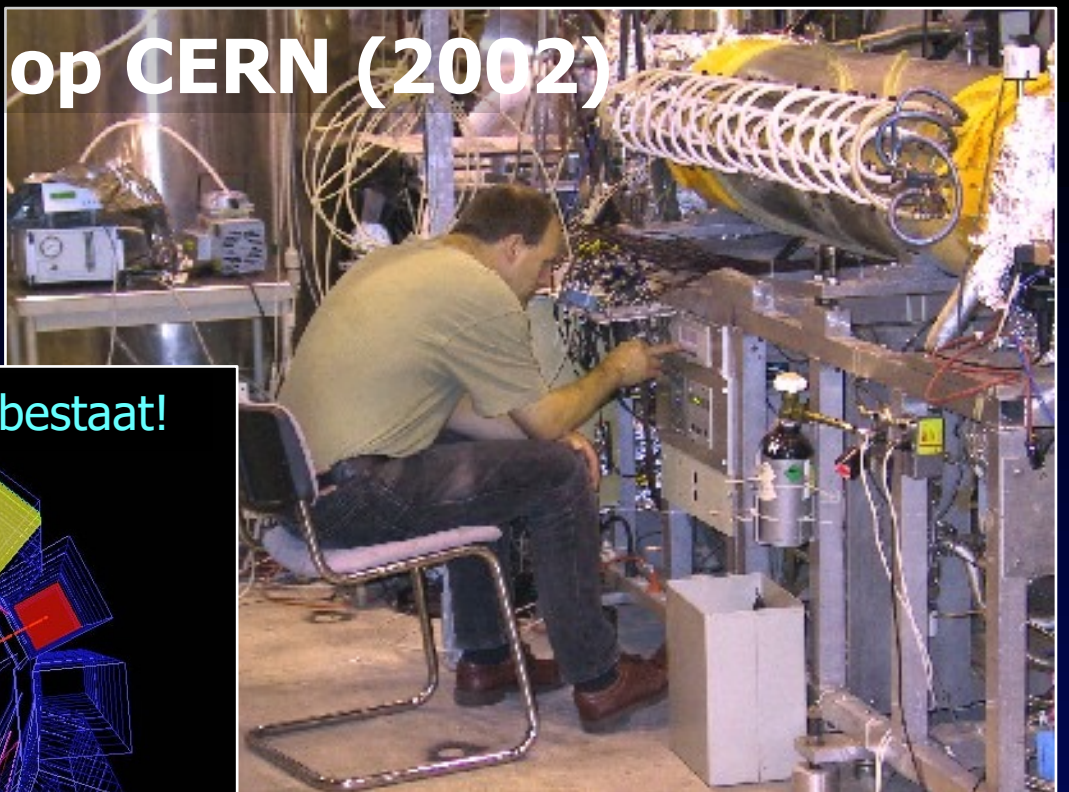
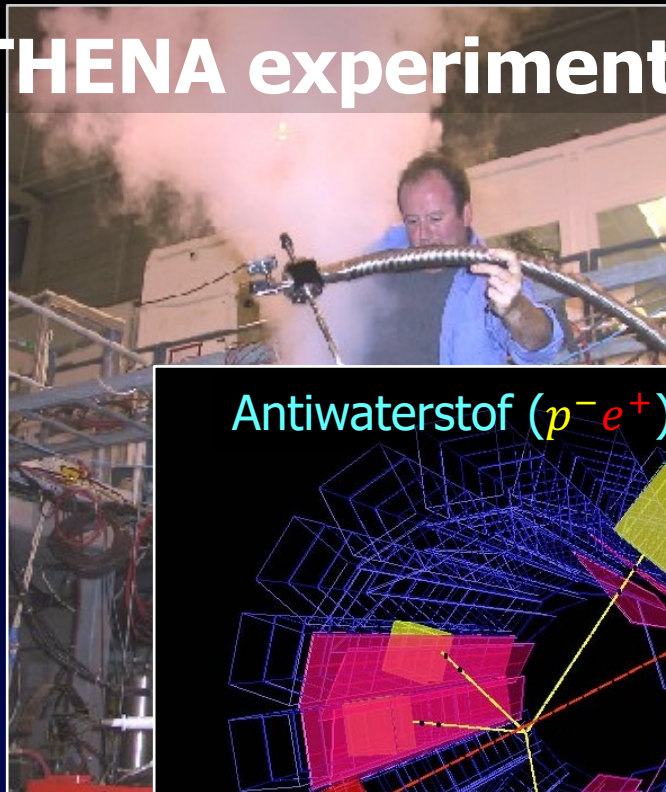
Dirac

AntiDirac

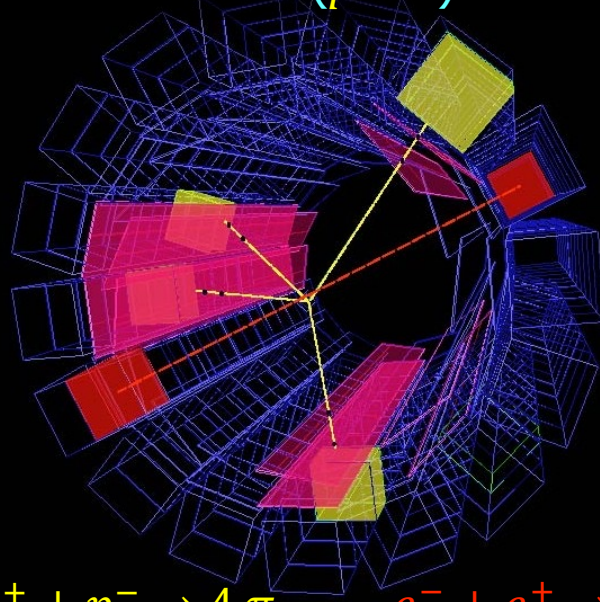
Antimaterie



Het ATHENA experiment op CERN (2002)



Antiwaterstof ($p^- e^+$) bestaat!



$$p^+ + p^- \rightarrow 4\pi$$

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma\gamma$$



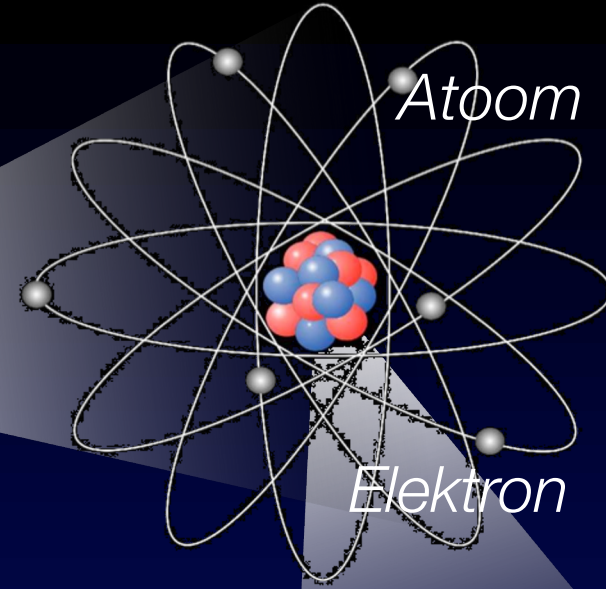
Een wereld van materie en ...



Molecuul

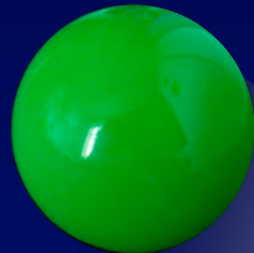


Atoom

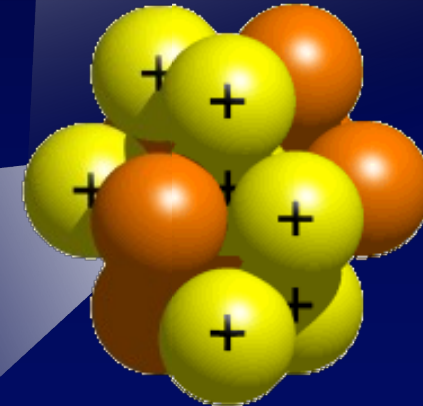
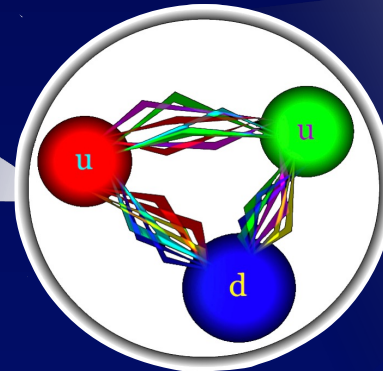


Elektron

Quark



Proton/Neutron



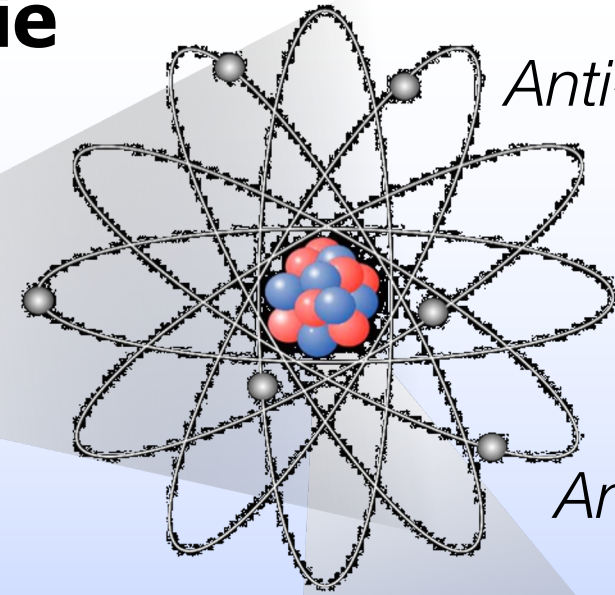
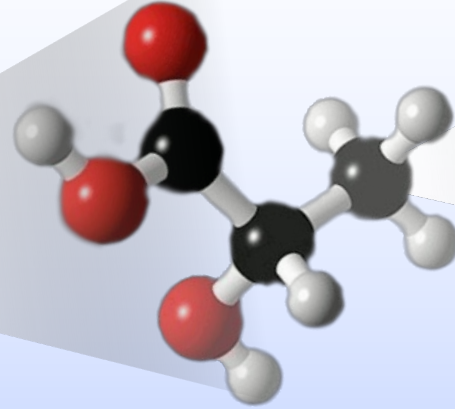
Atoom kern

... een wereld van antimaterie



**Identieke
anti-wereld**

Anti-Molecuul



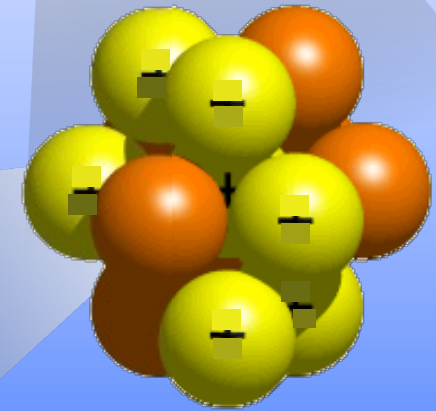
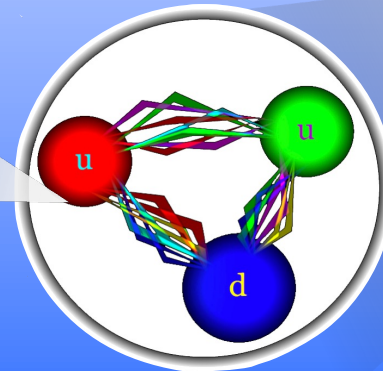
Anti-Atoom

Anti-elektron

Anti-Quark

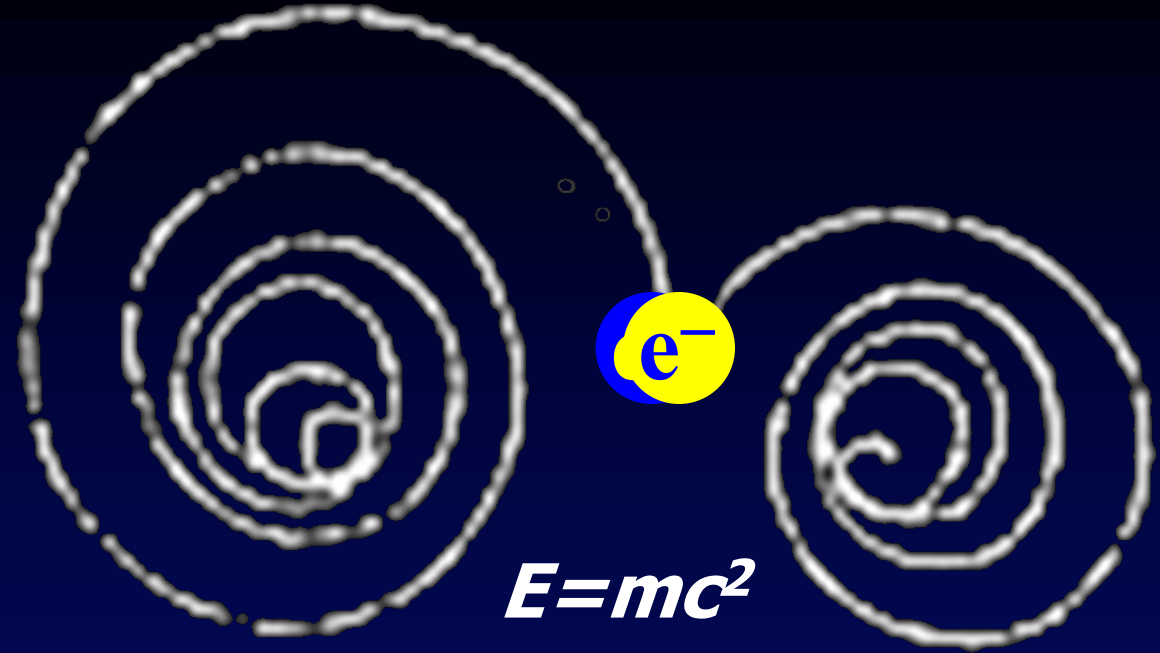
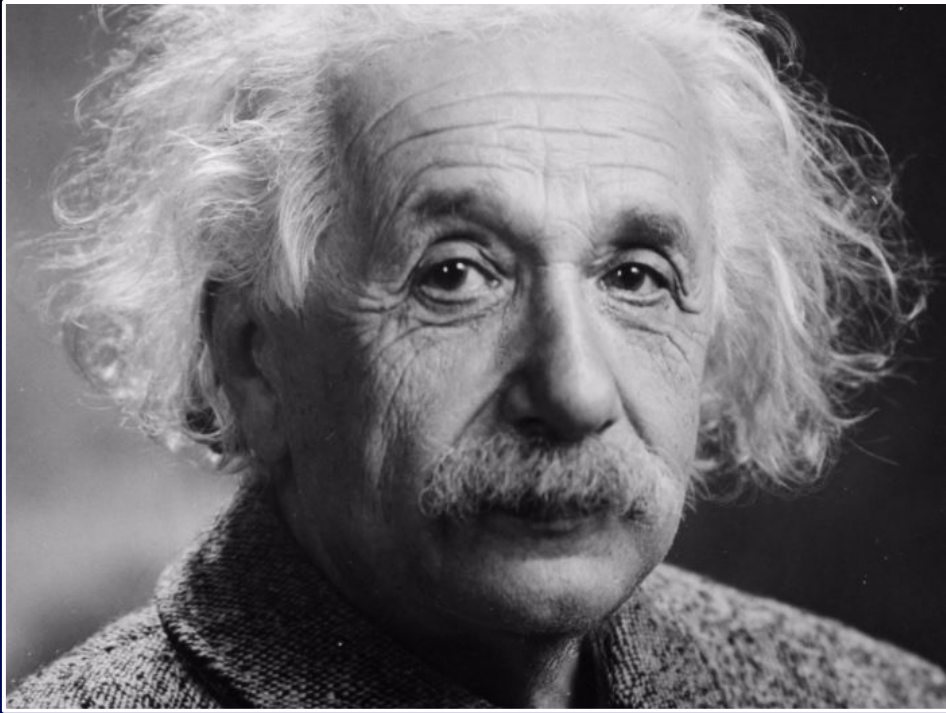


*Anti-Proton /
anti-Neutron*



Anti-atoomkern

Albert Einstein: Energie = materie + antimaterie



Creatie:

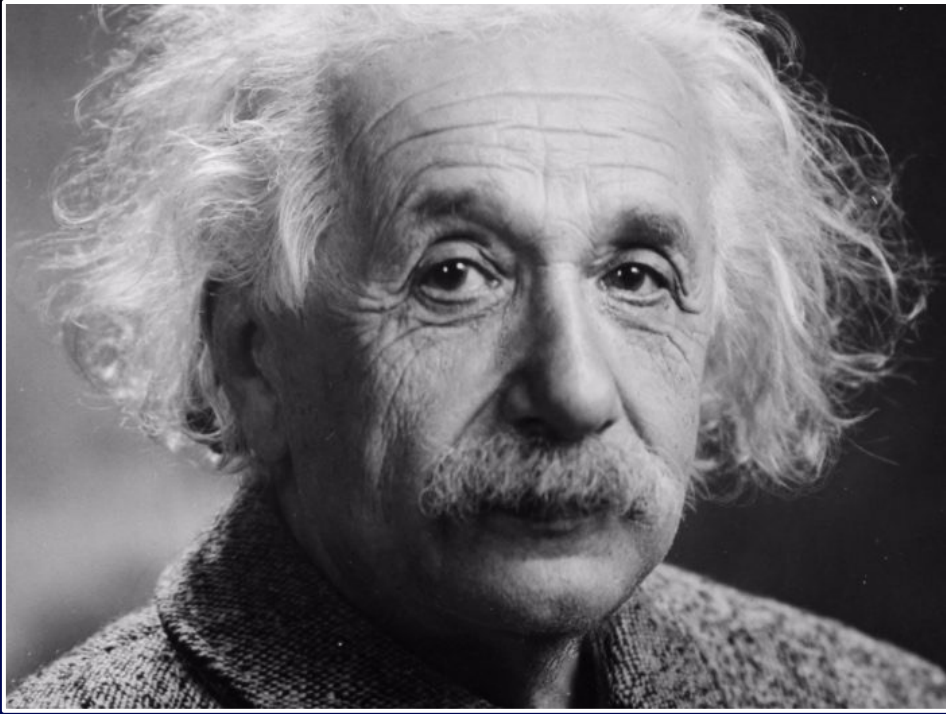
Energie → materie + antimaterie :  →  

Annihilatie:

materie + antimaterie → energie :   →  



Albert Einstein: Energie = materie + antimaterie

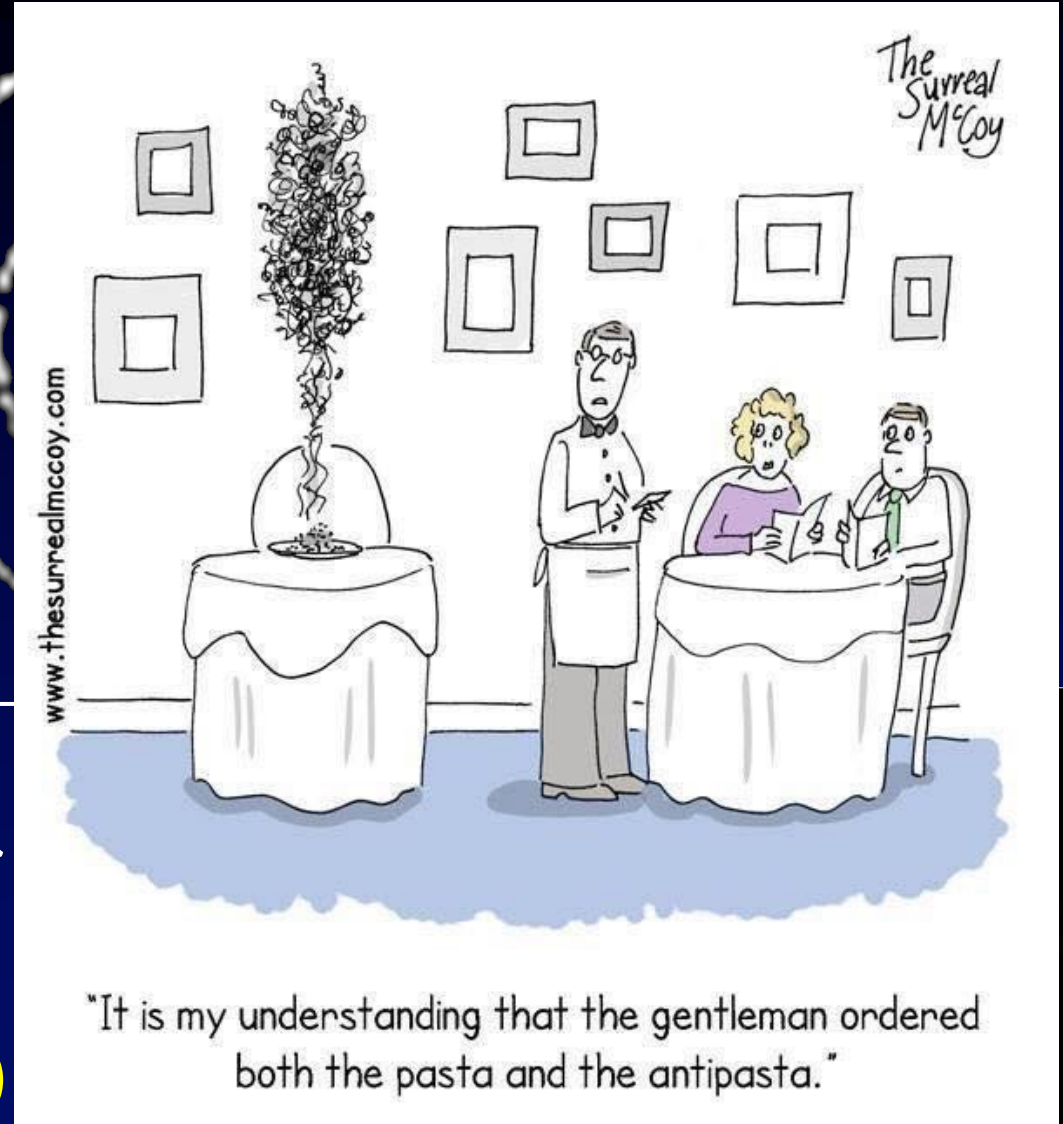


Creatie:

Energie \rightarrow materie + antimaterie :  \rightarrow

Anihilatie:

materie + antimaterie \rightarrow energie :  



Is er antimaterie in de natuur?

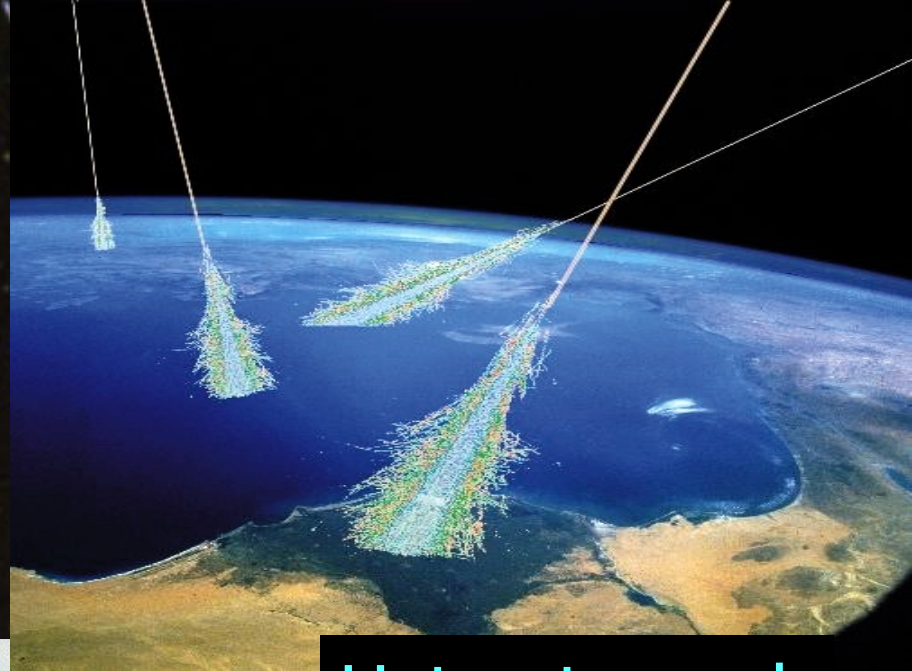
- Komt het voor op Aarde?



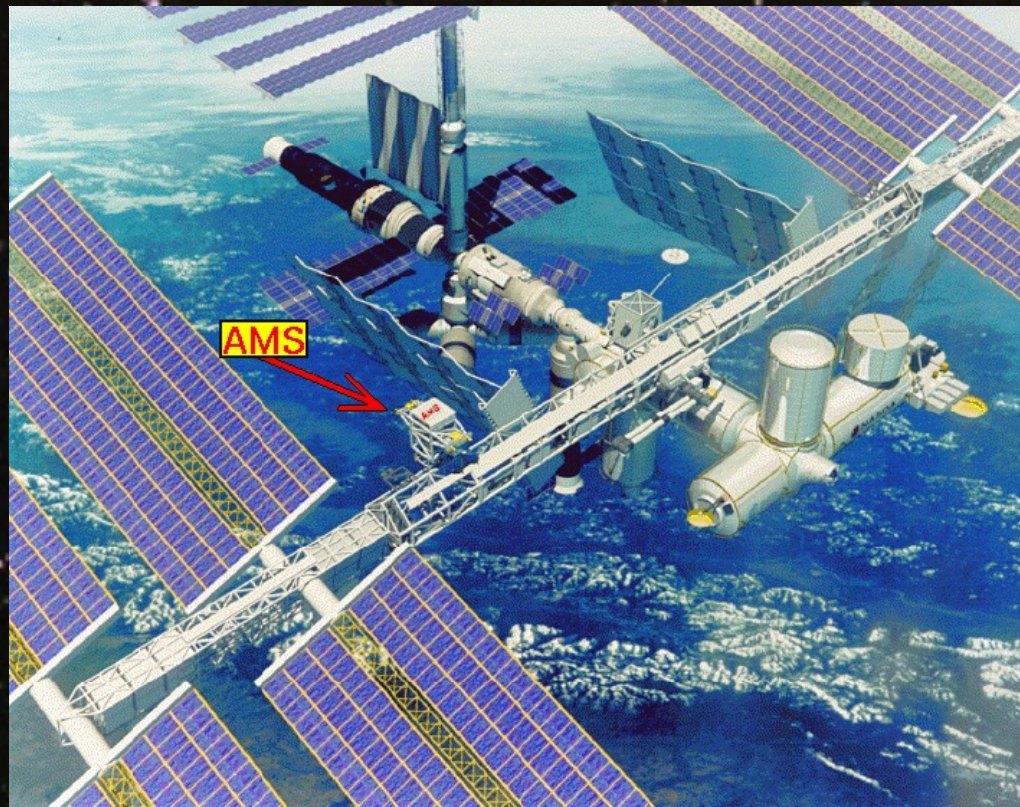
- Nee, we zouden het onmiddellijk zien:
 - "Annihilatie"



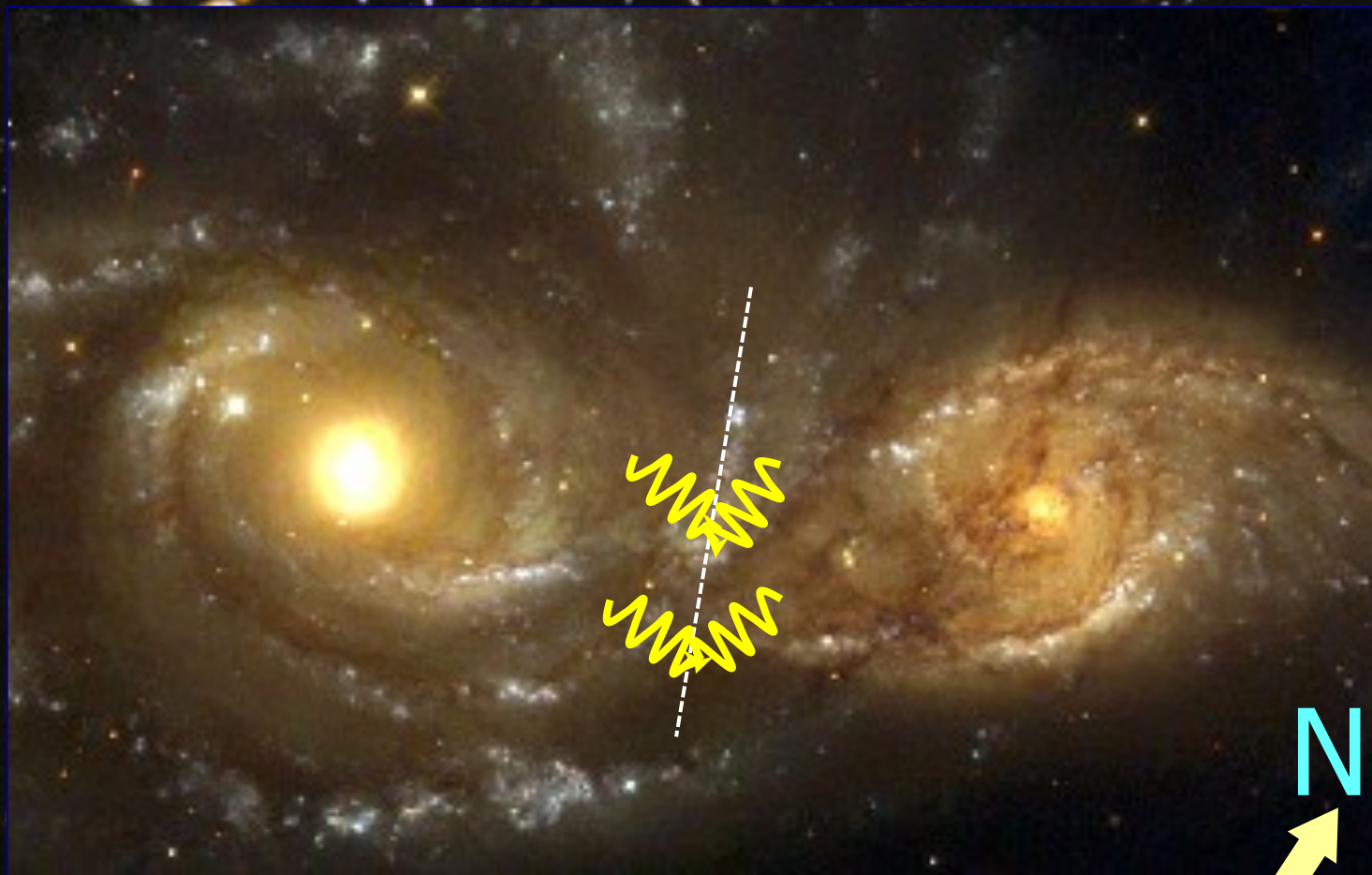
- Is er antimaterie in kosmische straling?
 - Het AMS experiment



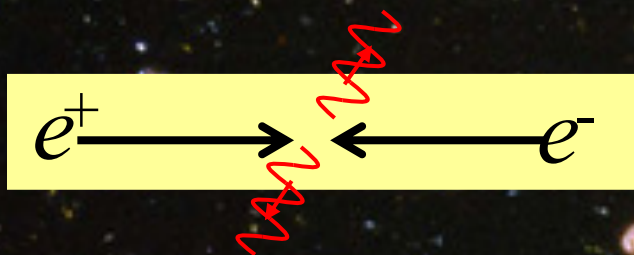
Het antwoord:



Zijn er antimaterie sterrenstelsels?



Nee!

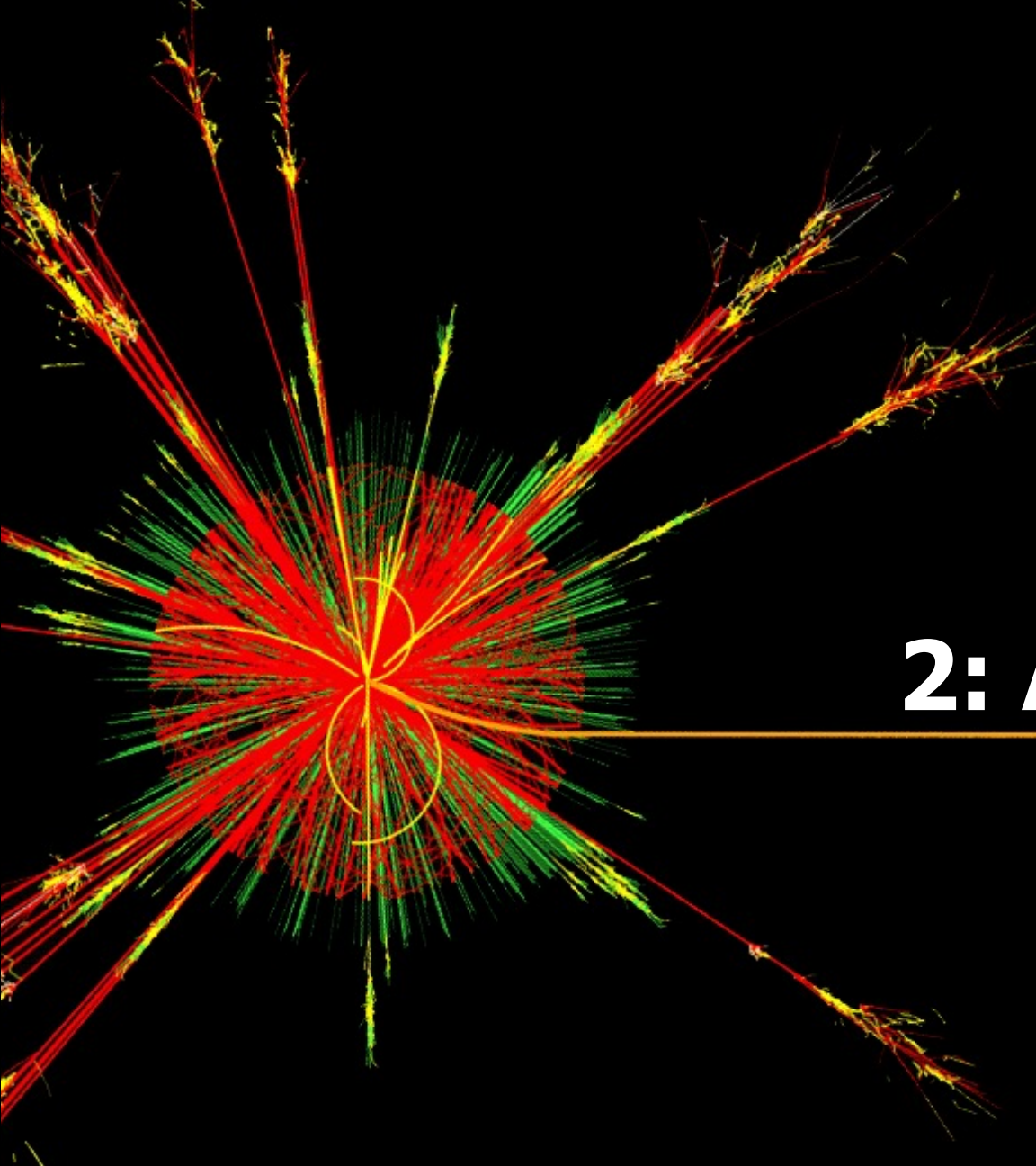


(materie + anti-materie =
Intense gamma stralen)

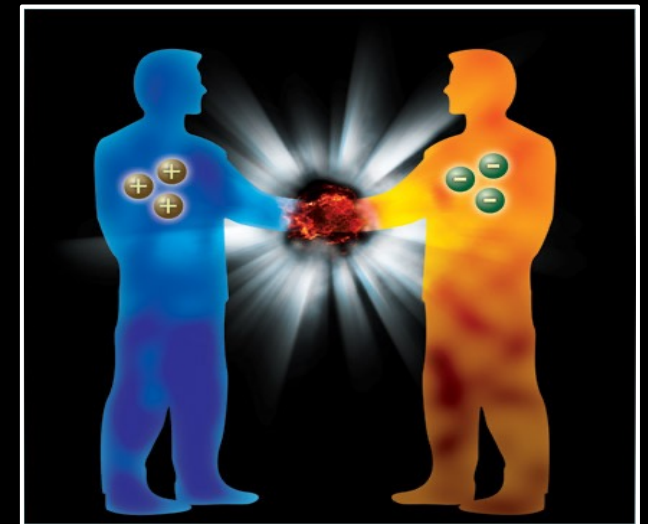
Vroege Universum: waar is de antimaterie heen?



Inderdaad: Waarom is er eigenlijk iets in plaats van niets?!



2: Antimaterie en Big Bang



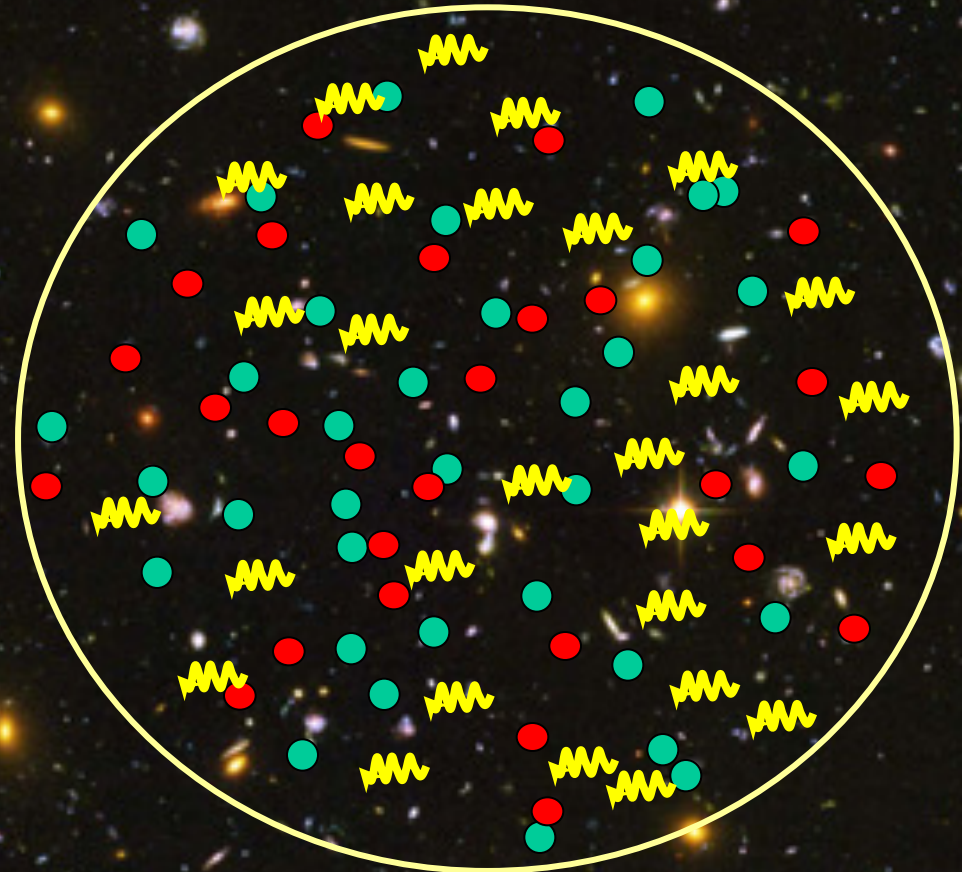
Terug naar de Oerknal

Veronderstelling: Er ontstaat materie en antimaterie!

Het vroege hete heelal

Tijd=0.000000000001 seconde

$(E=mc^2)$



- Stel:
- *materie:*
1000000001
 - *antimaterie:*
1000000000
 - ⚡ licht

Dus: "ietsiepietsie" meer **materie** deeltjes dan **antimaterie** deeltjes

Het afgekoelde heelal

Tijd ~ 1 seconde

Na afkoelen
heffen ● en ●
elkaar op



- *materie*
- *antimaterie*
- ~ *licht*

Er blijft over: veel licht en een beetje materie

Verhouding : 1000000000 : 1

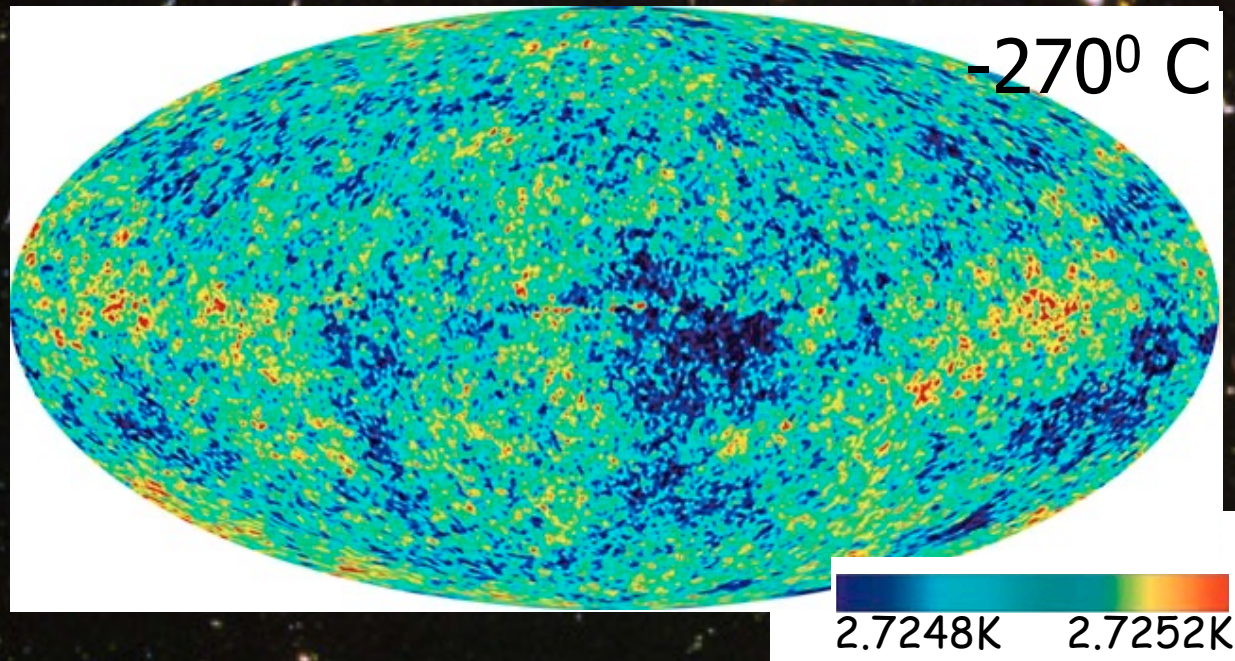


Ons huidige heelal....

Kosmische achtergrond straling

1964: Penzias en Wilson
ontdekken: "achtergrond licht"
(fotonen)
Restant van de oerknal

Een temperatuur kaart ...
van het heelal



Voor elk materie deeltje
zijn er miljard fotonen

Het heelal zoals we het nu zien

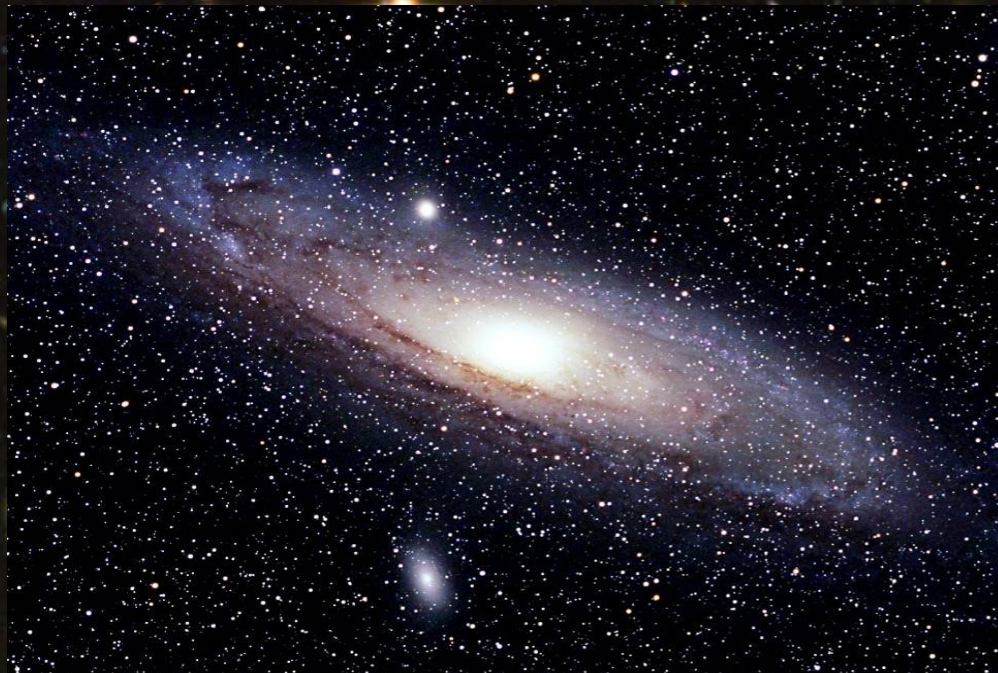
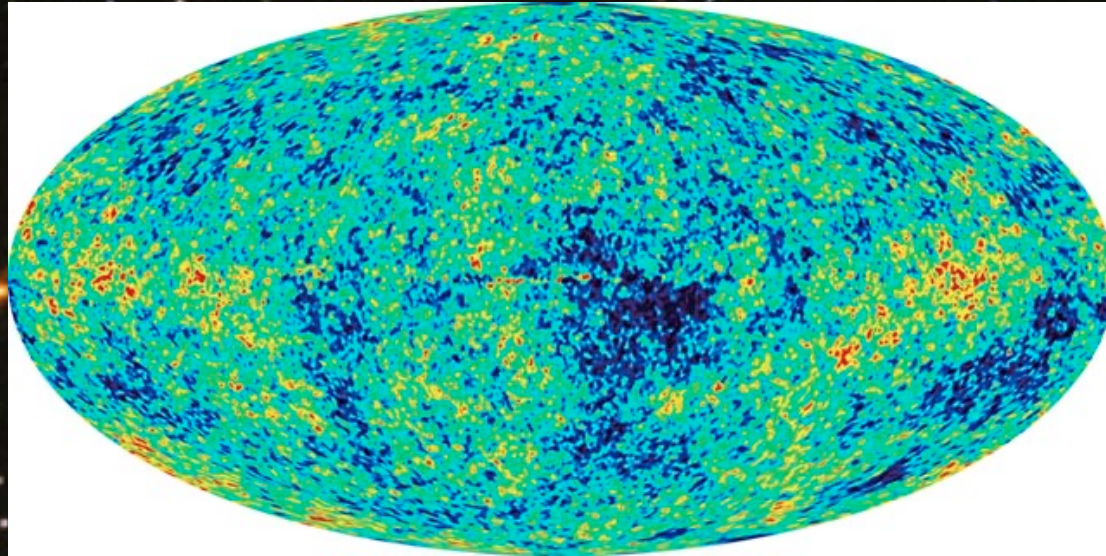
🌊 Waargenomen
Nagloeilicht:

"veel"
(1000000000)

+

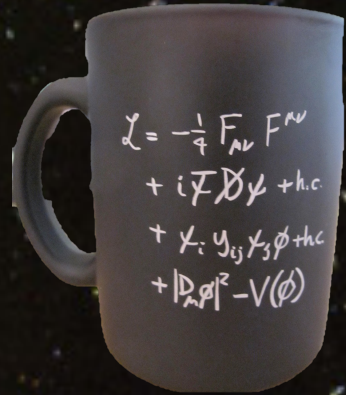
● Resterende
materie:

"weinig"
(1)



Hoe verdween antimaterie in de Big Bang?

Natuurwetten



Big Bang



Klein overschot

49.9999999%
anti-materie

50.0000001%
materie

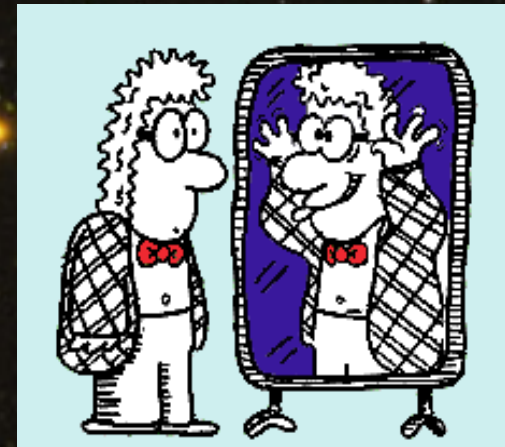


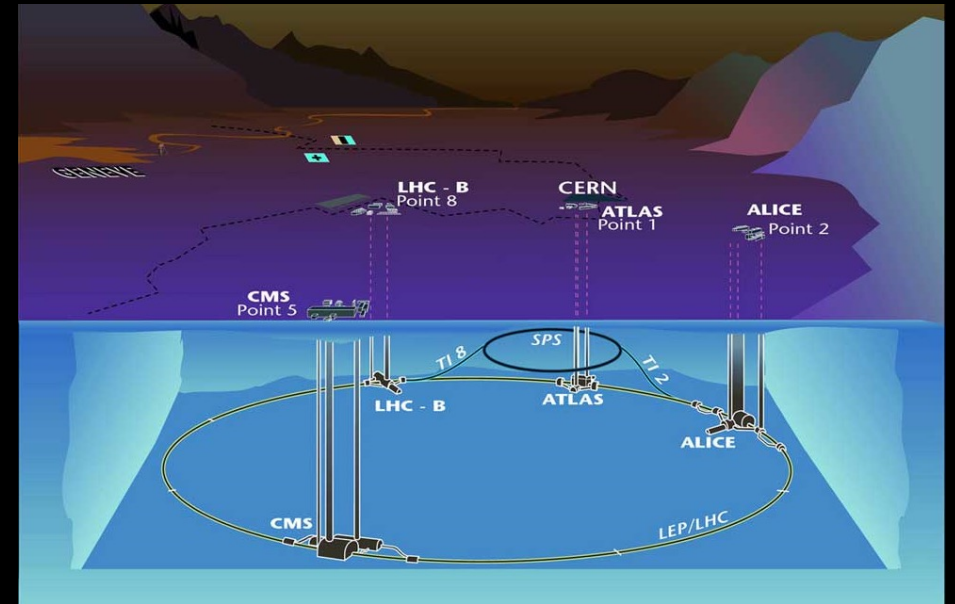
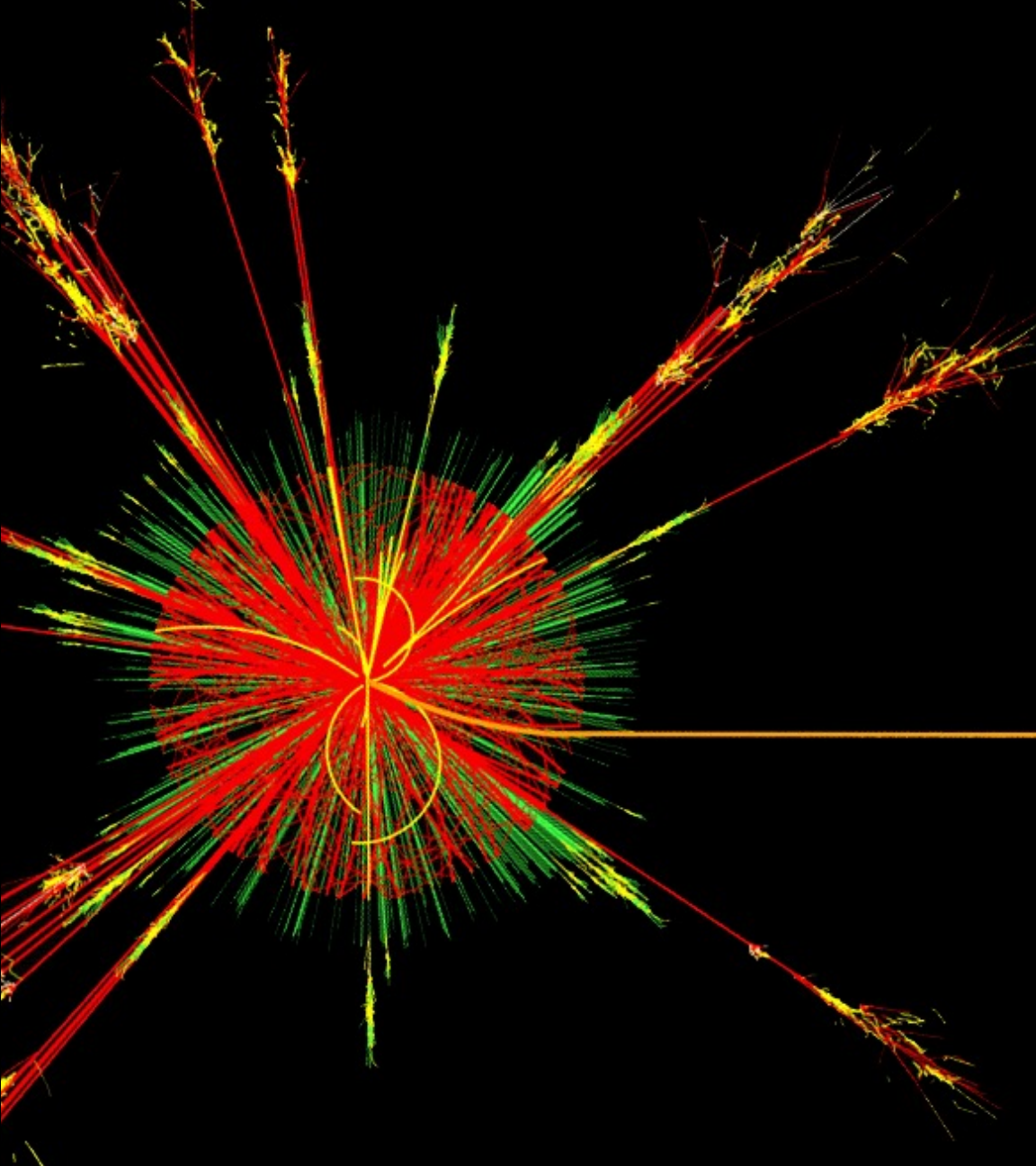
Domineert

0.000001%
materie

(+99.999999%
straling)

*Antimaterie niet het exacte
spiegelbeeld van materie?*





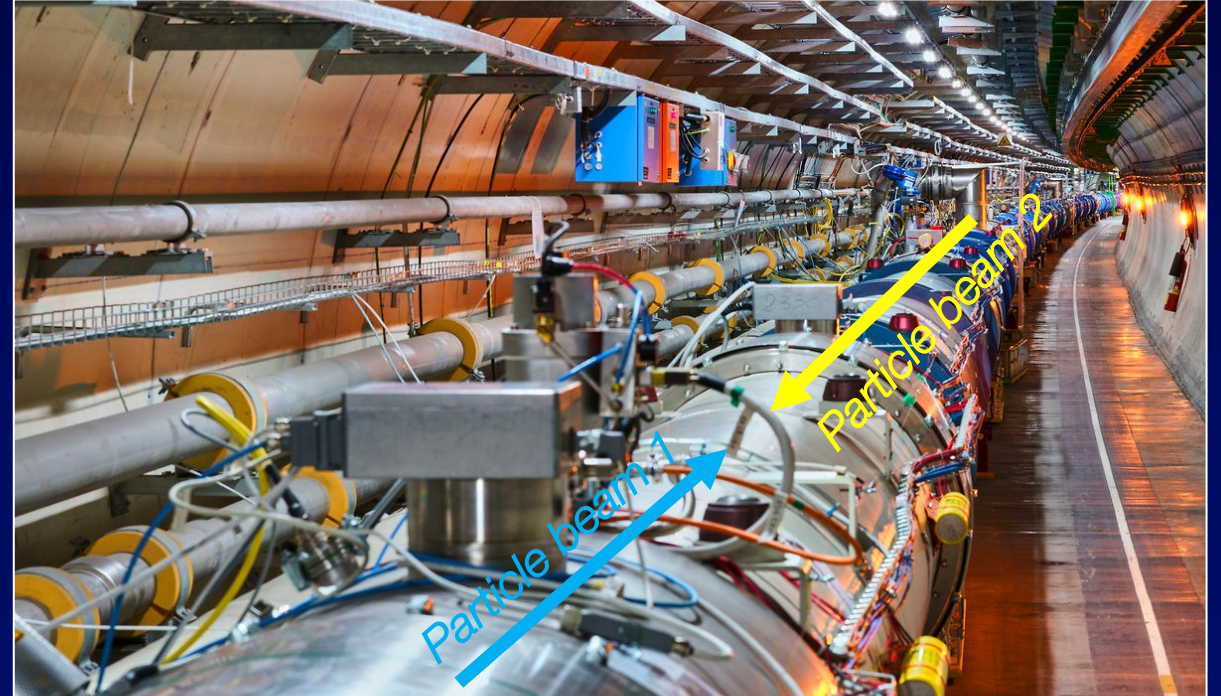
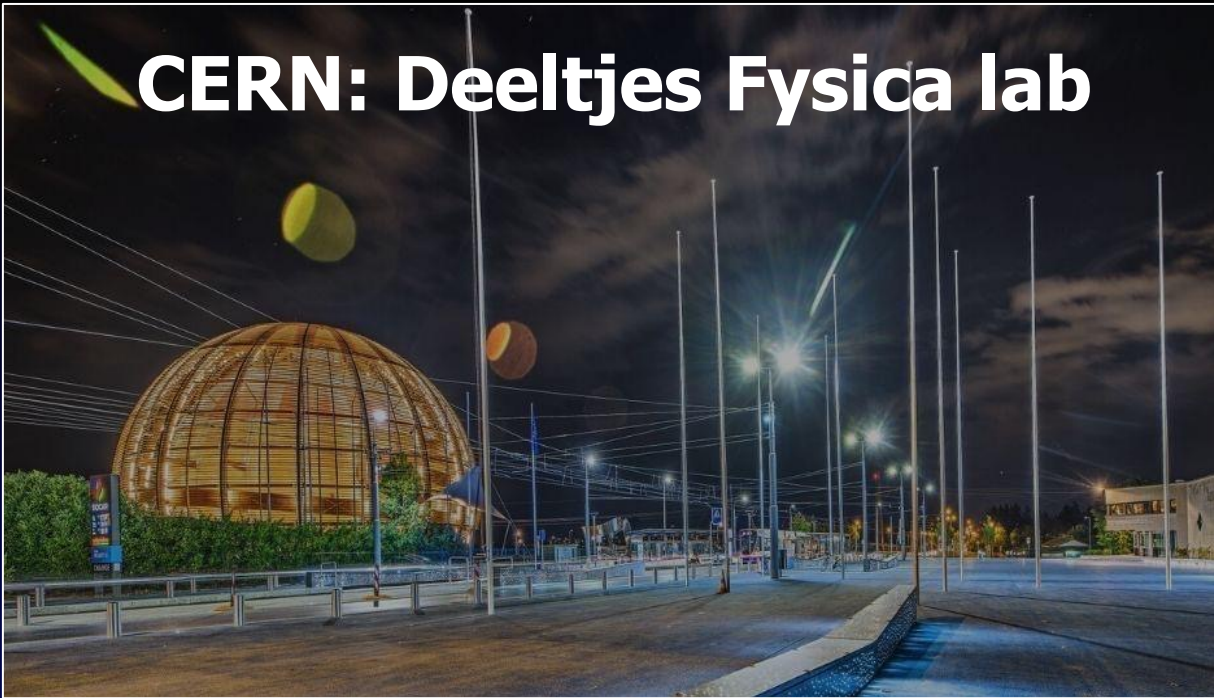
3: Deeltjes & CERN



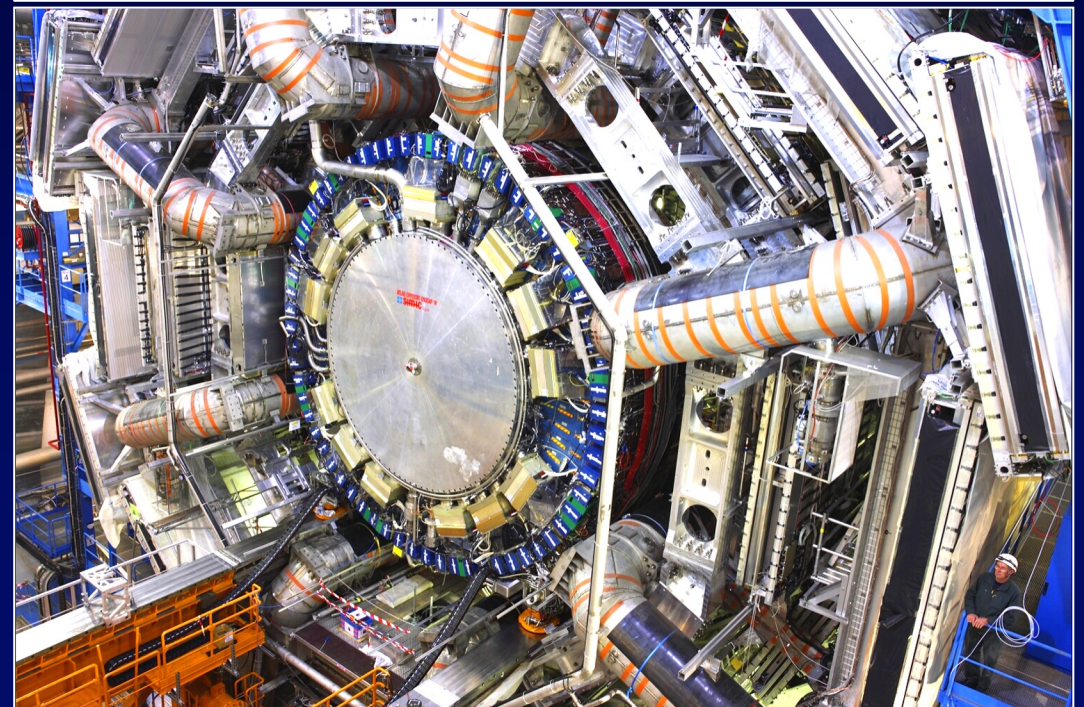
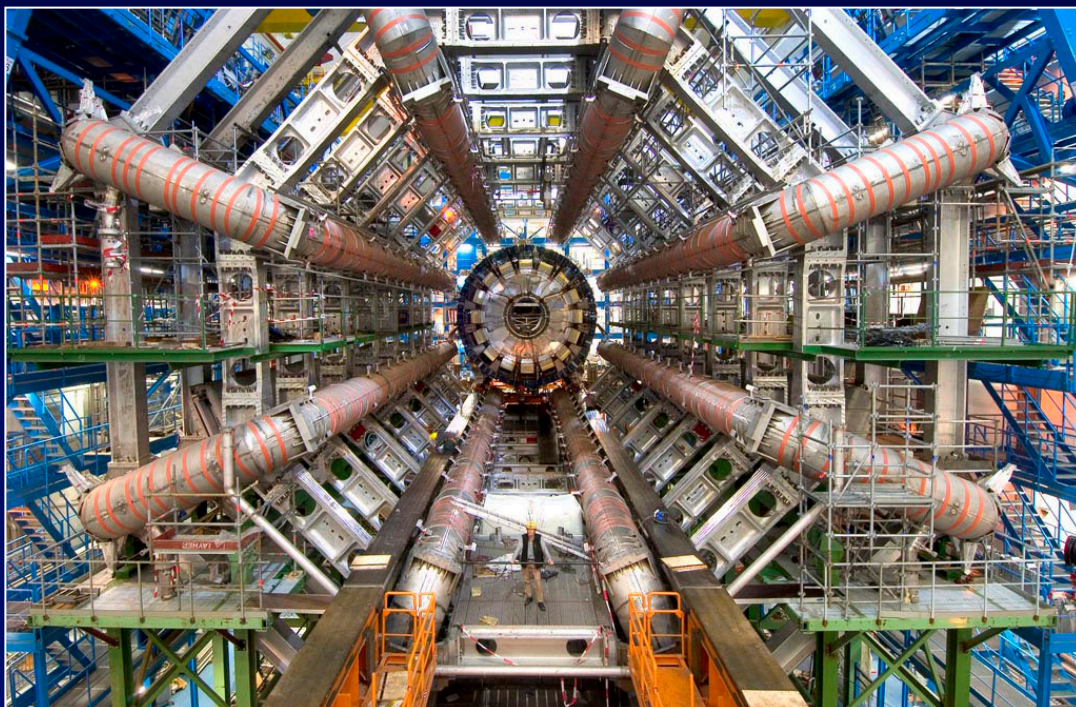
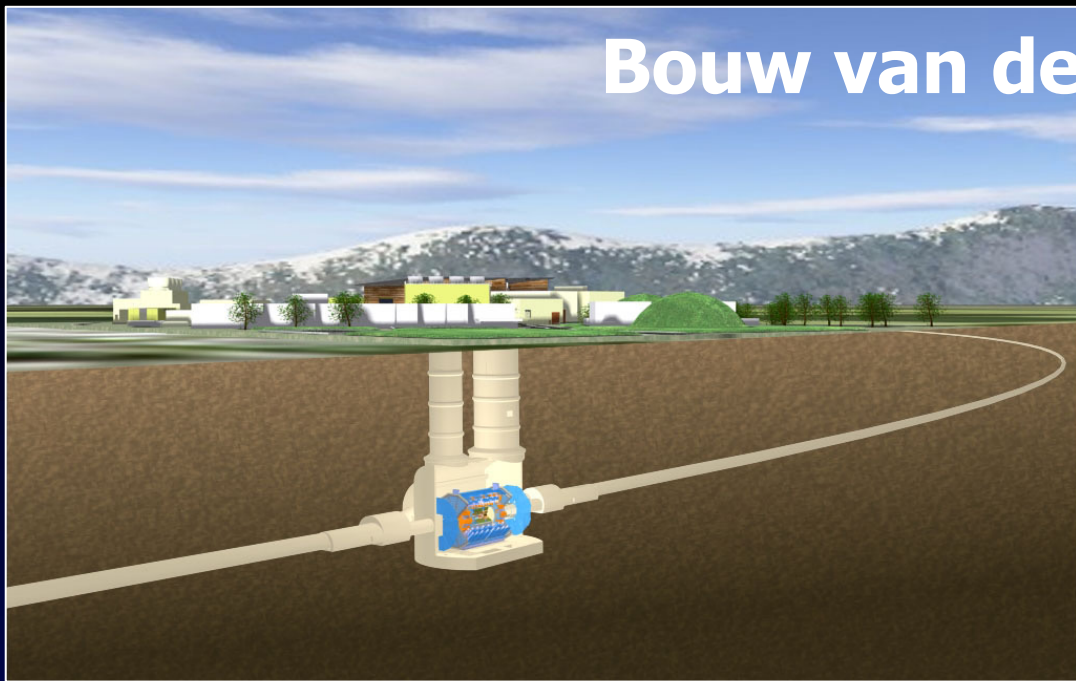
Member States (Dates of Accession)

AUSTRIA (1959)	DENMARK (1953)	GREECE (1953)	NORWAY (1953)	SPAIN (1/1961-12/1968-1/1983)
BELGIUM (1953)	FINLAND (1991)	HUNGARY (1992)	POLAND (1991)	SWEDEN (1953)
BULGARIA (1999)	FRANCE (1953)	ITALY (1953)	PORTUGAL (1986)	SWITZERLAND (1953)
CZECH FR (1993)	GERMANY (1953)	NETHERLANDS (1953)	SLOVAK FR (1993)	UNITED KINGDOM (1953)

CERN: Deeltjes Fysica lab



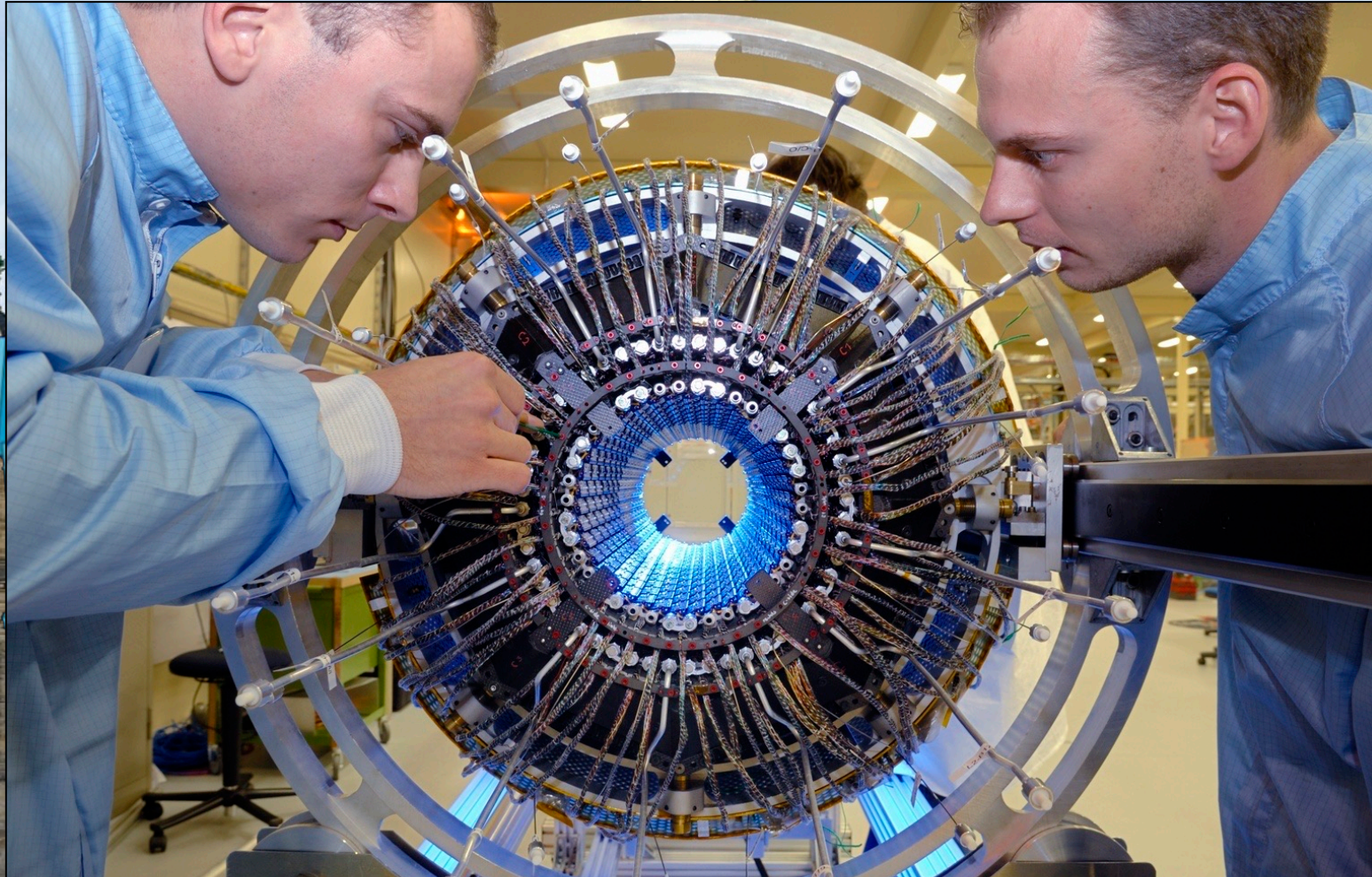
Bouw van de Atlas detector



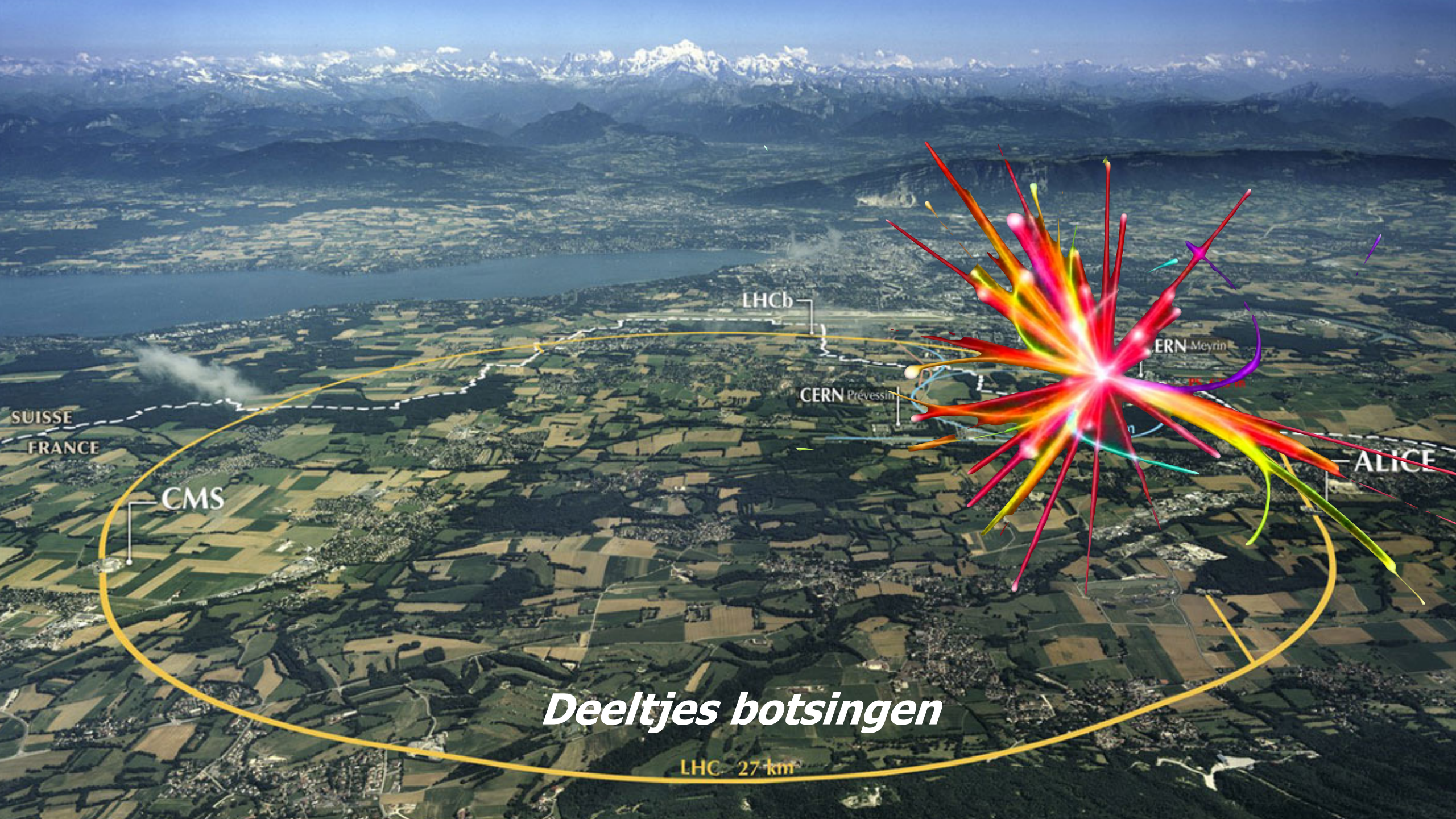
Het Atlas Experiment

Het grootste fototoestel op aarde

- 45 m x 25 m
- 3000 fysici



80 MegaPixel "camera": 40.000.000 foto's per seconde



SUISSE
FRANCE

CMS

LHCb

CERN Prévessin

CERN Meyrin

ALICE

Deeltjes botsingen

LHC 27 km

QM: "Alles dat **kan** gebeuren **zal** gebeuren"



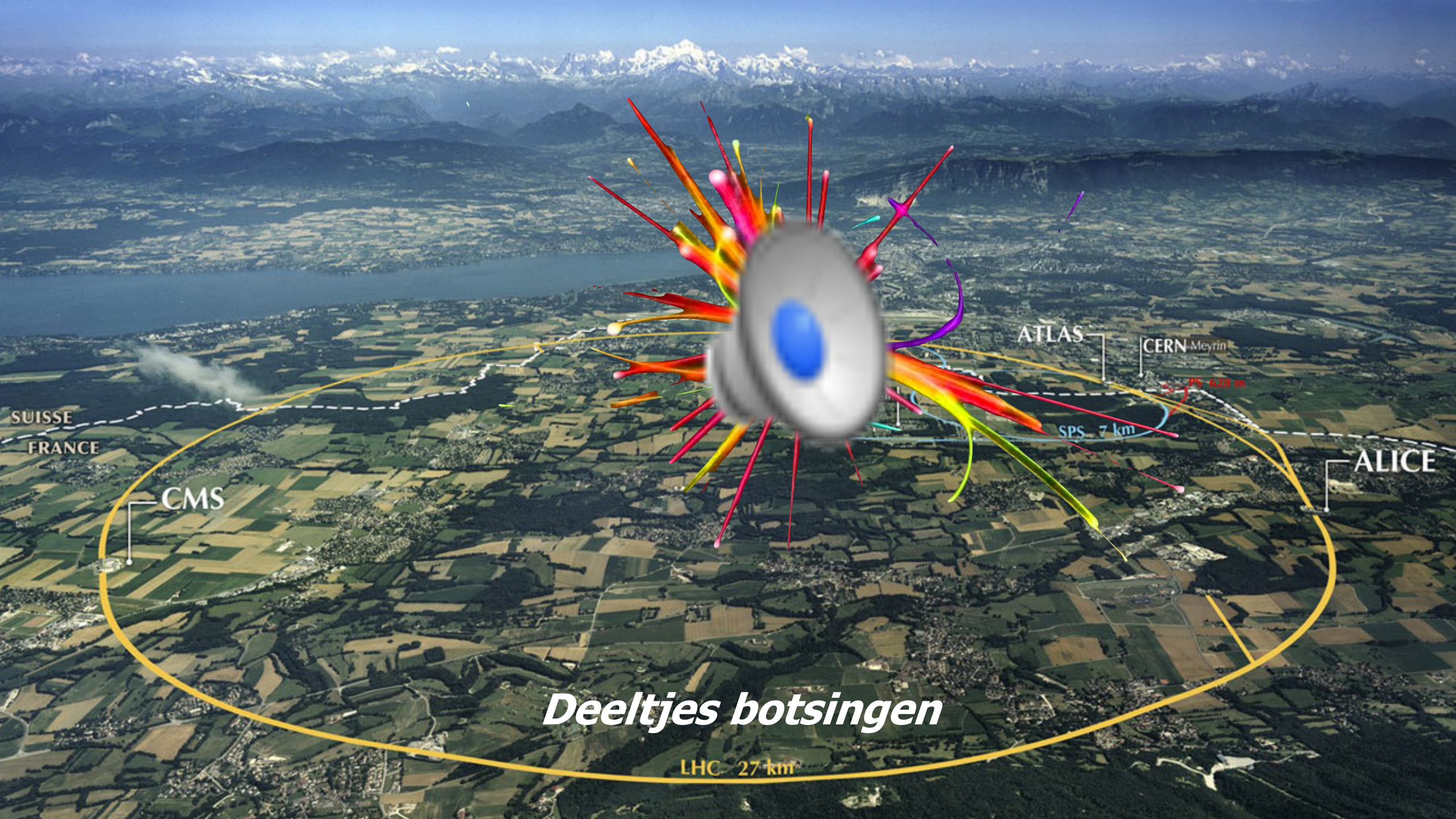
SUISSE
FRANCE

CMS

ALICE

Deeltjes botsingen

LHC 27 km



SUISSE
FRANCE

CMS

ATLAS

CERN Meyrin

PS 6.28 km

SPS 7 km

ALICE

Deeltjes botsingen

LHC 27 km

De Elementaire Deeltjes

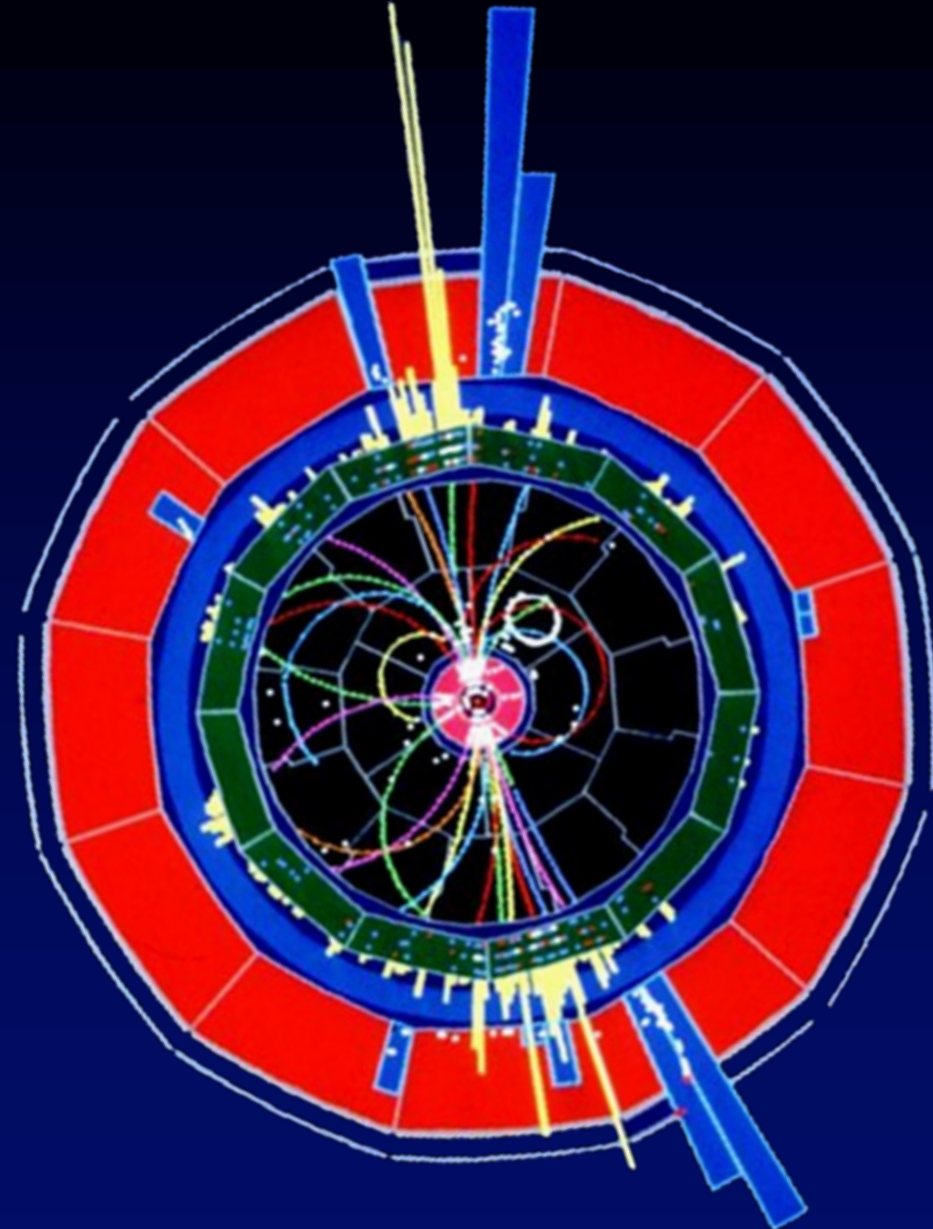
Generatie:

	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

3 "generaties" van deeltjes!

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

Materie



De Elementaire Deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c	t	+2/3 e
	d	s	b	-1/3 e

3 "generaties" van deeltjes!

leptons	e	μ	τ	-1 e
	ν_e	ν_μ	ν_τ	0 e

Materie

	I	II	III
-2/3 e	\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
+1/3 e	\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}

3 "generaties" van anti-deeltjes!

+1 e	\bar{e}	$\bar{\mu}$	$\bar{\tau}$
0 e	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$

Anti-materie

De Elementaire Deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c	t	+2/3 e
	d	s	b	-1/3 e

<u>Lading</u>	I	II	III
-2/3 e	\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
+1/3 e	\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}

“Flavor puzzle”: Waarom bestaan er 3 generaties van deeltjes??

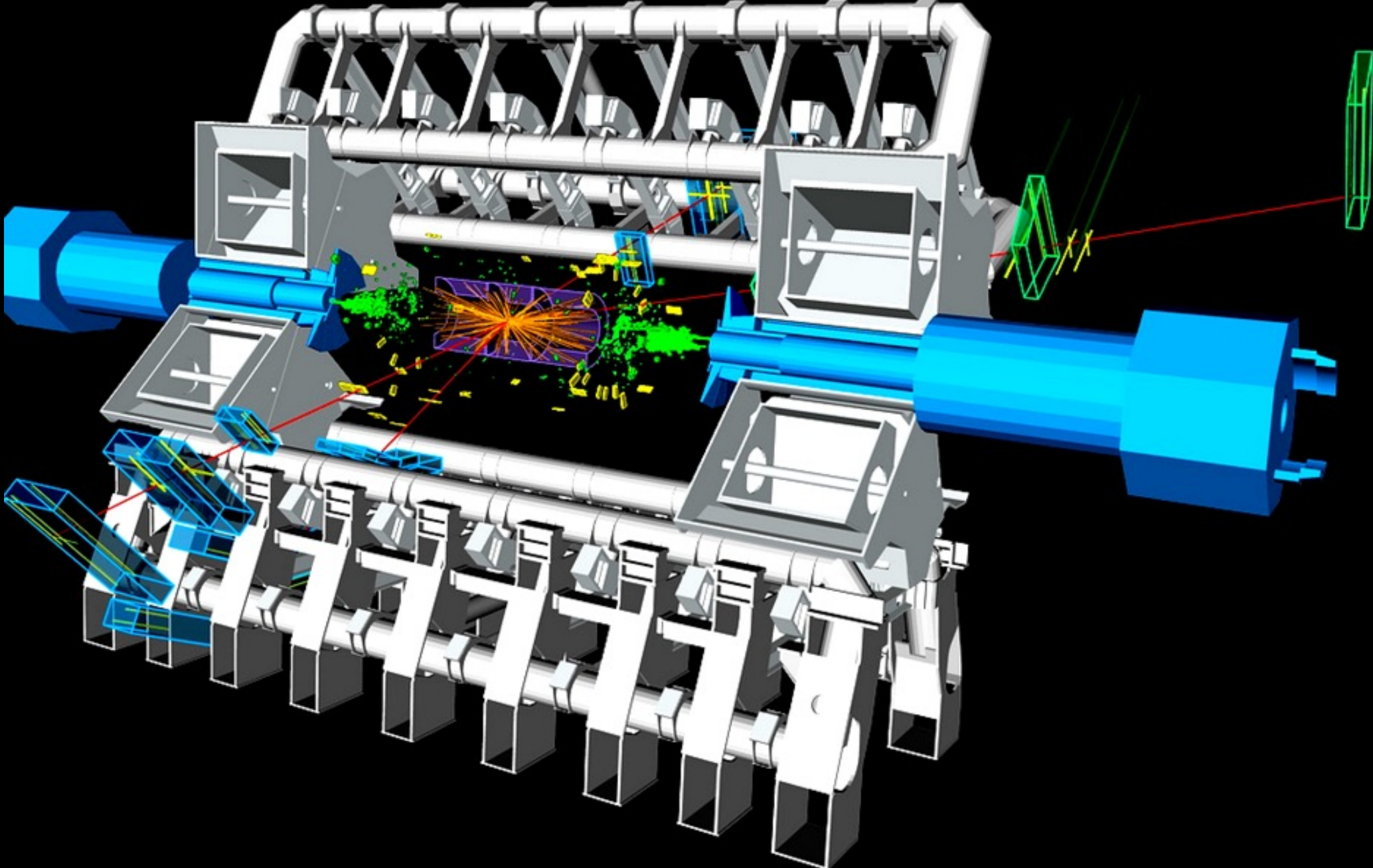
leptons	e	μ	τ	-1 e
	ν_e	ν_μ	ν_τ	0 e

+1 e	\bar{e}	$\bar{\mu}$	$\bar{\tau}$
0 e	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$

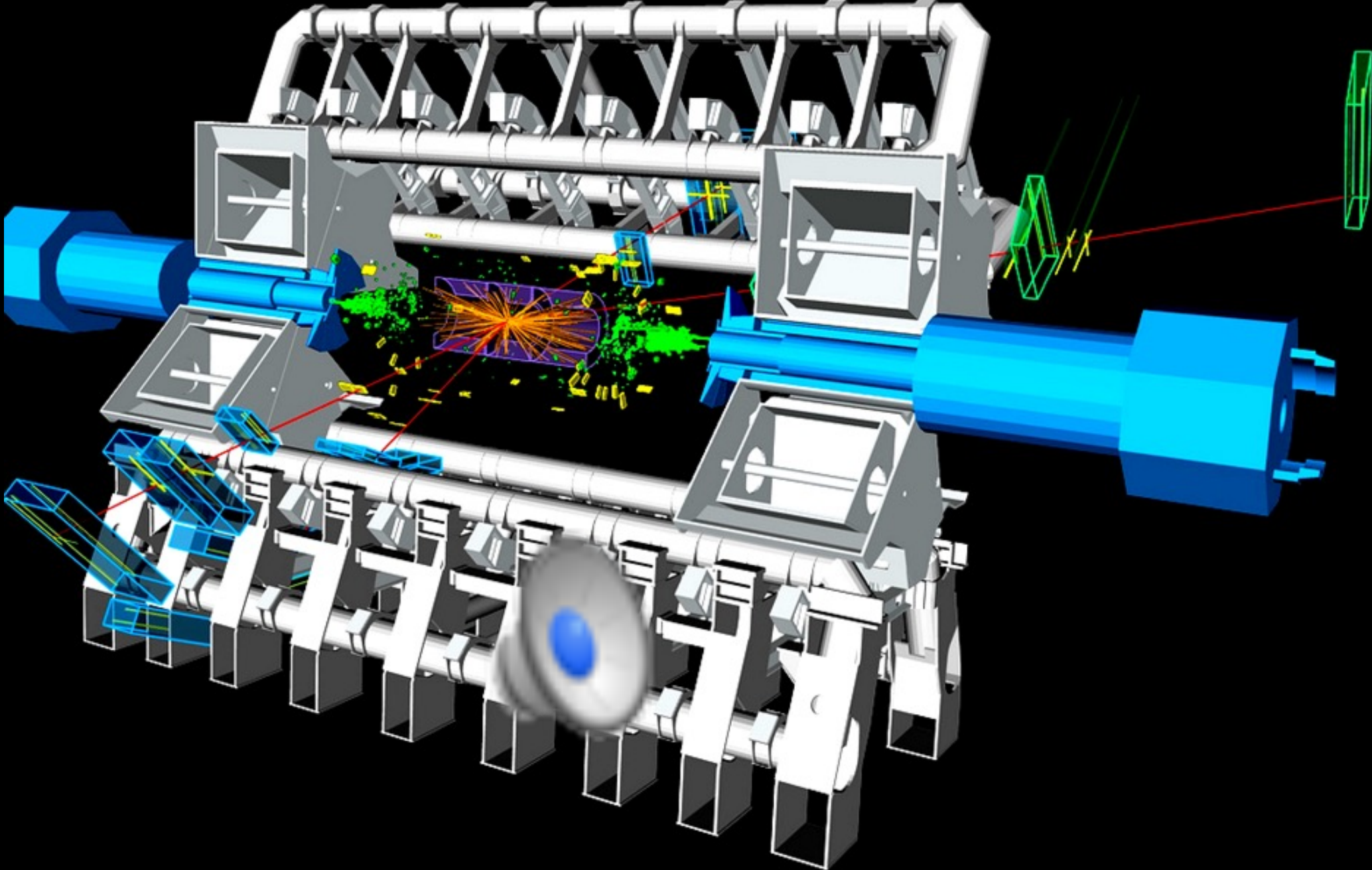
Materie

Anti-materie

Ontdekking van het Higgs deeltje

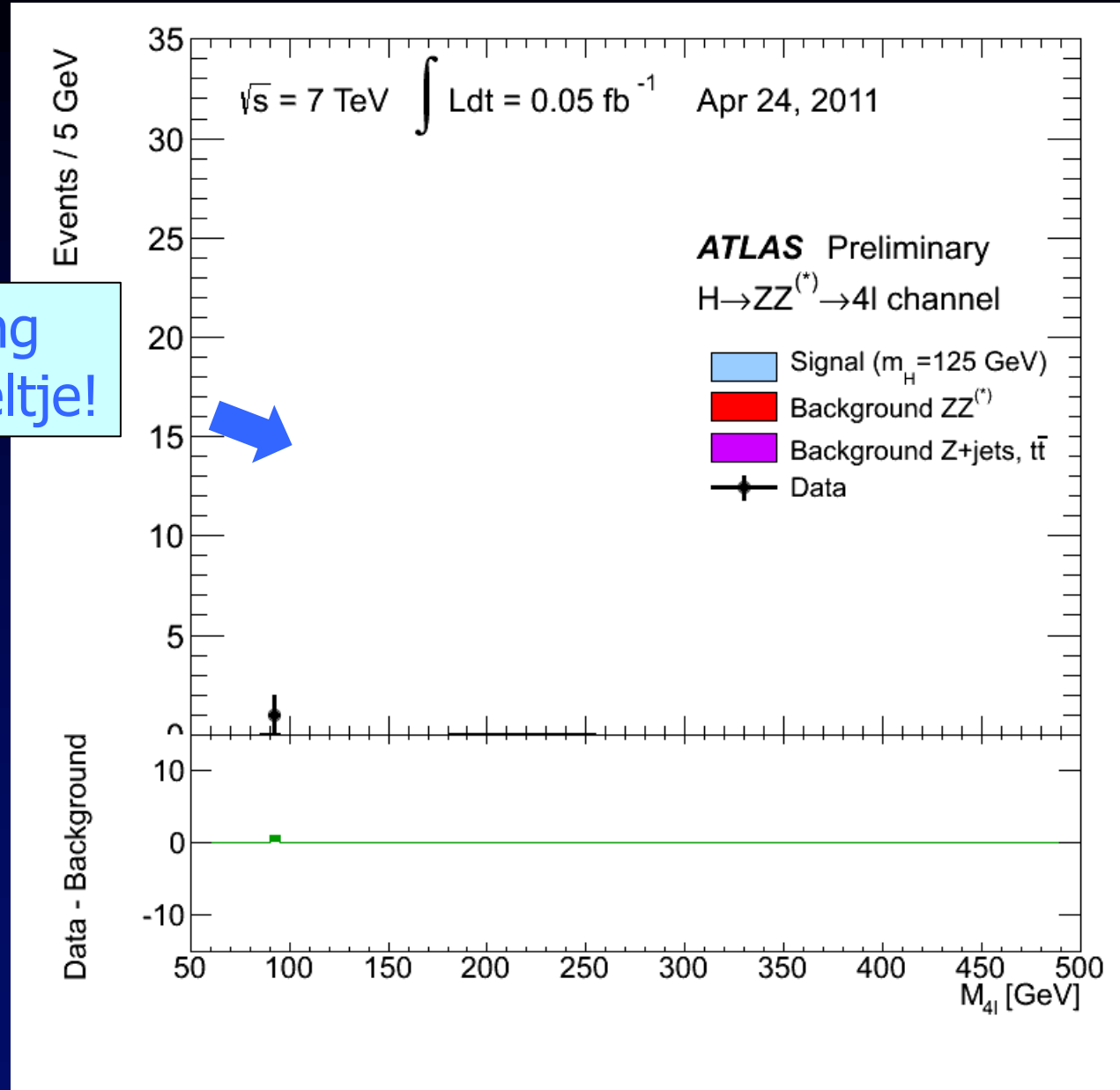


Ontdekking van het Higgs deeltje

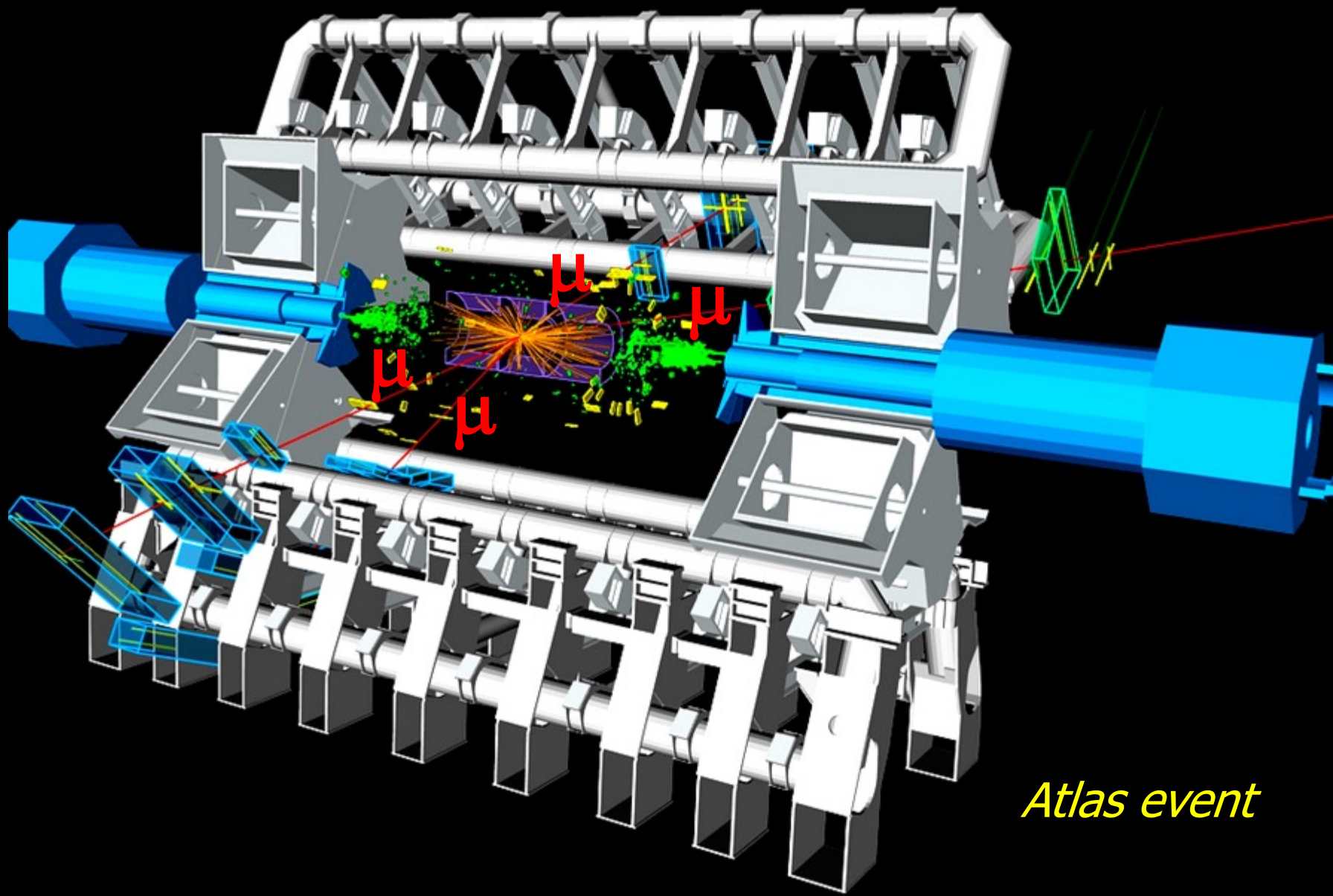


Higgs: data verzamelen en Theorie testen

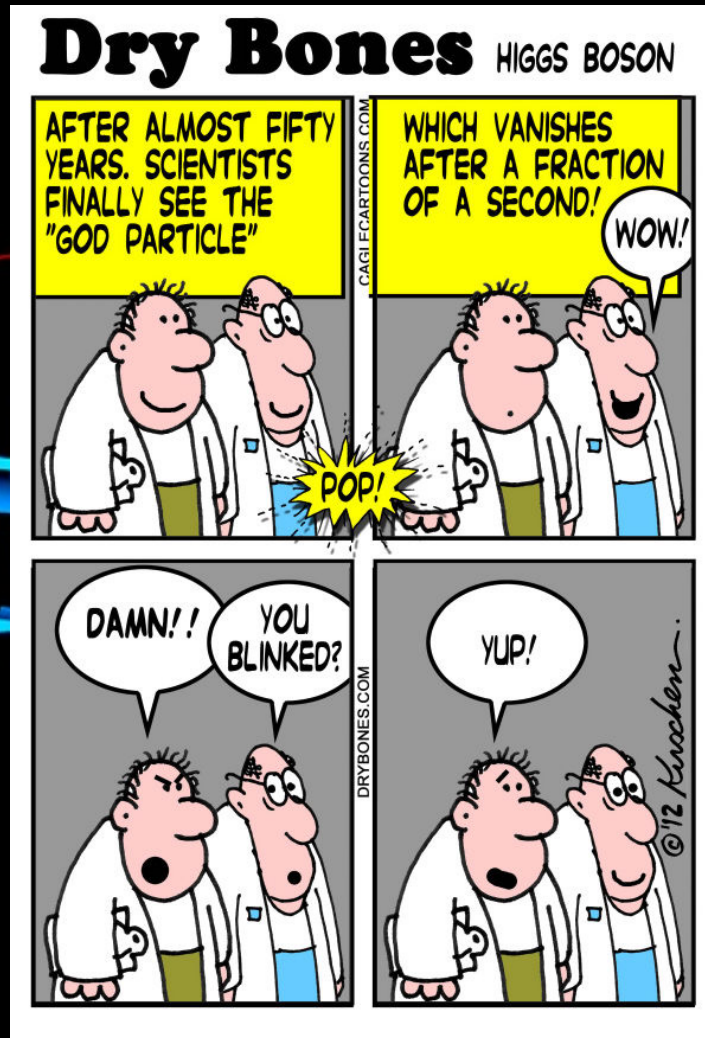
Ontdekking
Higgs deeltje!



$$pp \rightarrow \text{Higgs} \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$$



Atlas event



4 July 2012

Bekendmaking Higgs ontdekking



2013 Nobel prijs in
Natuurkunde



Robert **B**rou



Francois **E**nglert

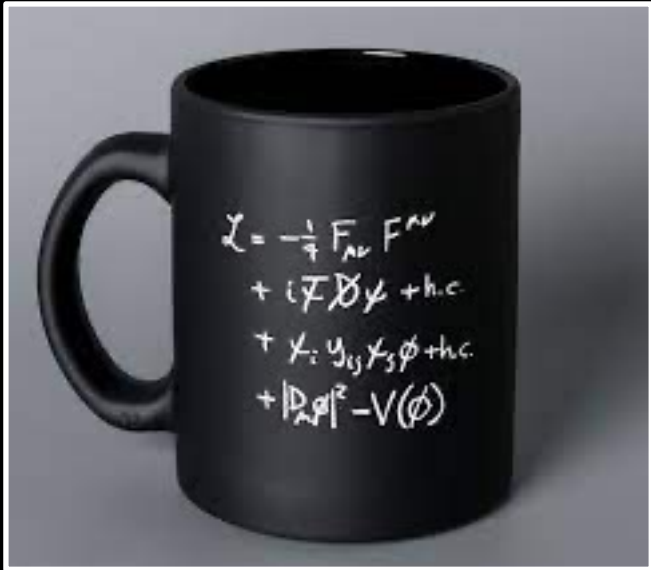
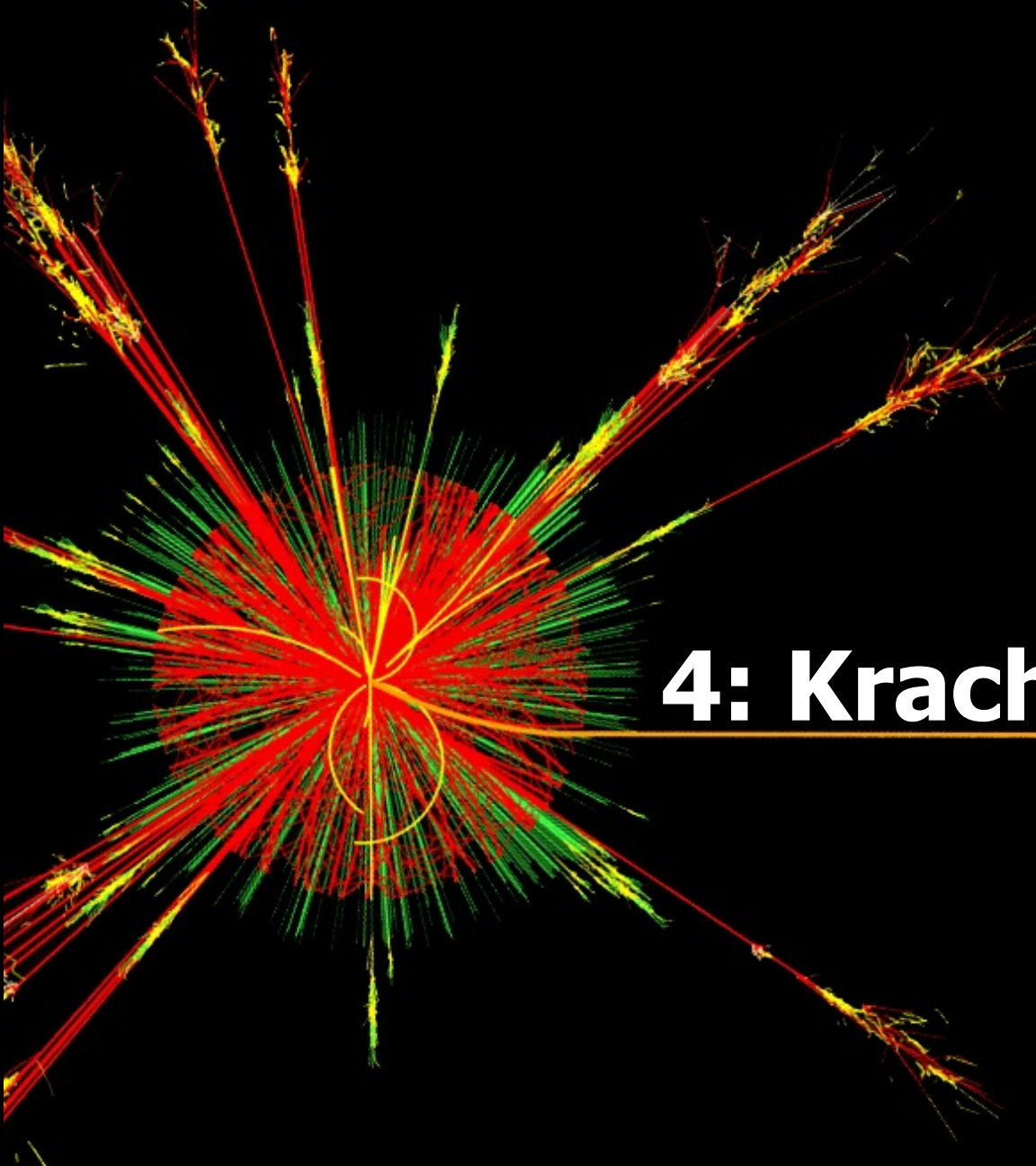
Peter **H**iggs

HORSEY
©2002
LOS ANGELES
TIMES

"PHYSICISTS HAVE JUST CONFIRMED THERE'S
A 'GOD PARTICLE' -- THE HIGGS BOSON--
THAT BINDS THE UNIVERSE TOGETHER
AND MAKES ALL THINGS
POSSIBLE!!"



PERSPECTIVE IS EVERYTHING.



4: Krachten: "Standaard Model"

Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks		
u	c	t
d	s	b

Higgs field

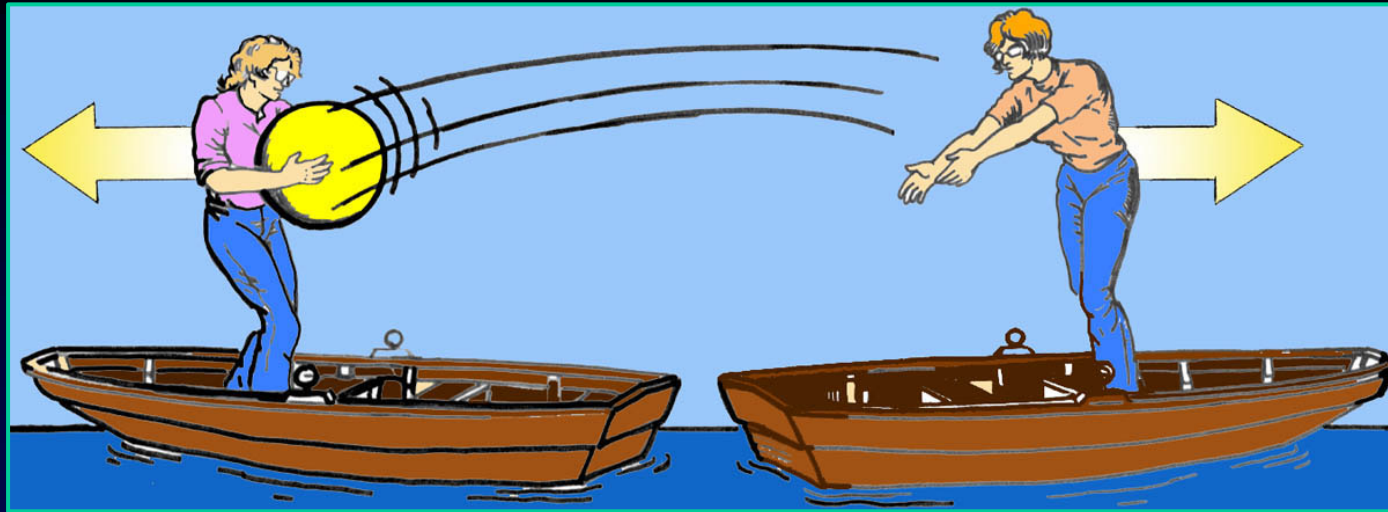
bosonen spin=1 deeltjes

Krachten	
Z	γ
W	g

H

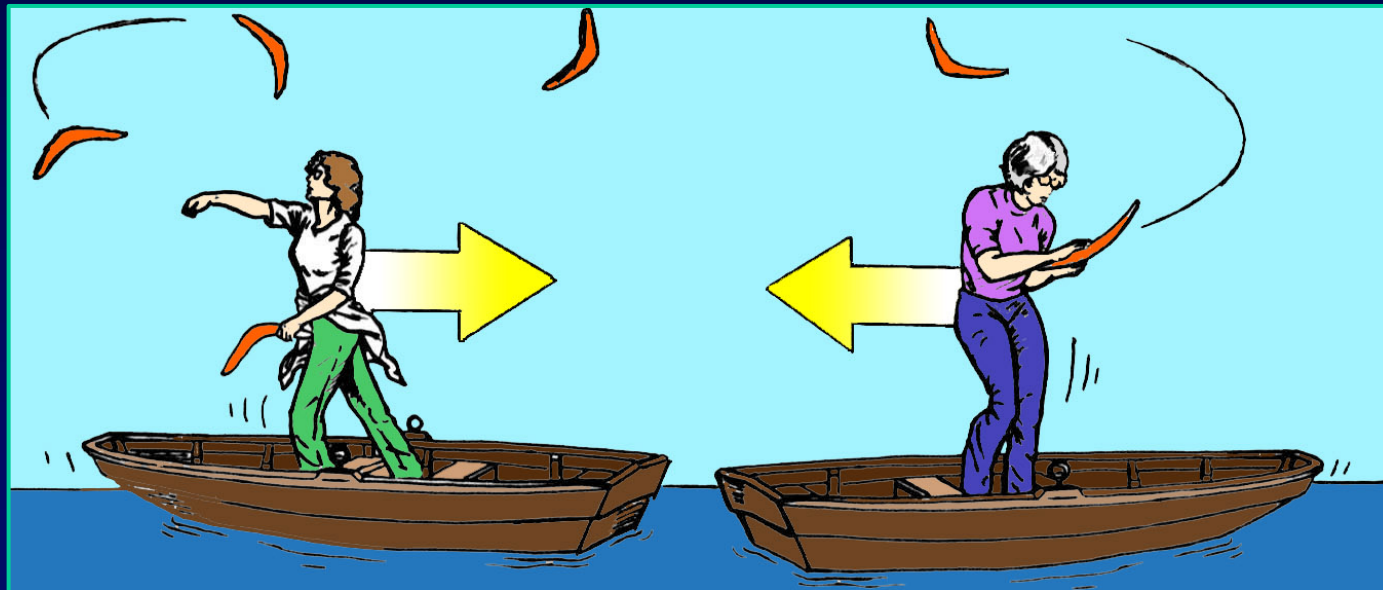
Leptonen		
ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ

Krachten in Quantum Mechanica: deeltjesuitwisseling



"Afstotende kracht"

Er is geen
"actie op afstand"



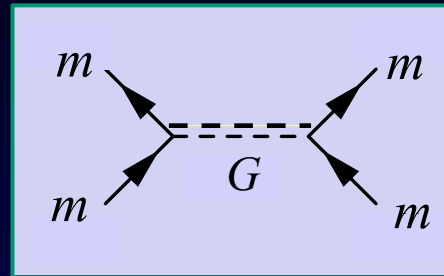
"Aantrekkende kracht"

Vier fundamentele natuurkrachten

Zwaartekracht:

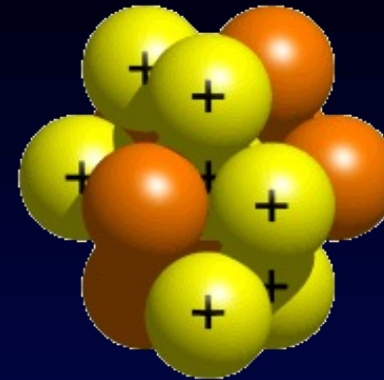


Quantum
Graviton exchange?



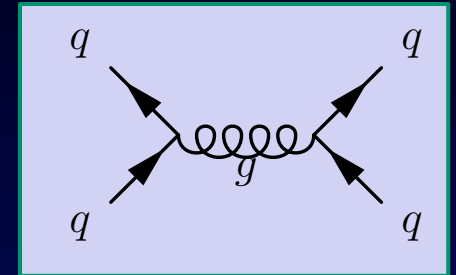
Werkt op alle deeltjes met massa

Sterke kernkracht:



Werkt op alle quarks

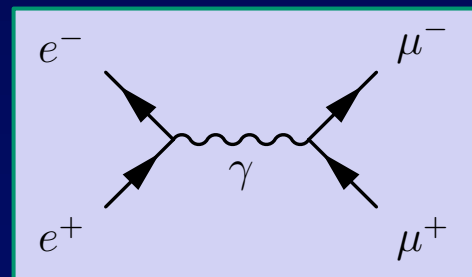
Quantum
gluon exchange:



Elektromagnetisme:



Quantum
photon exchange:



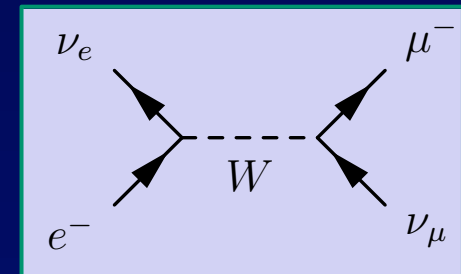
Werkt op alle elektrisch geladen deeltjes

Zwakke kernkracht:



Werkt op alle deeltjes

Quantum
W, Z exchange:

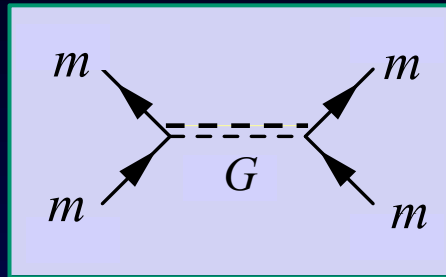


Vier fundamentele natuurkrachten

Zwaartekracht:

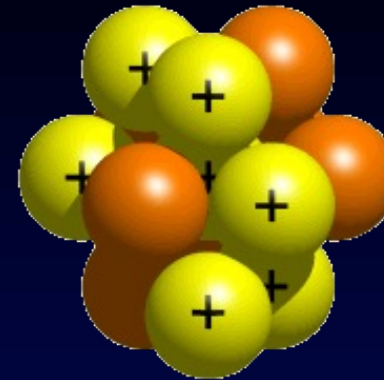


Quantum
Graviton exchange?



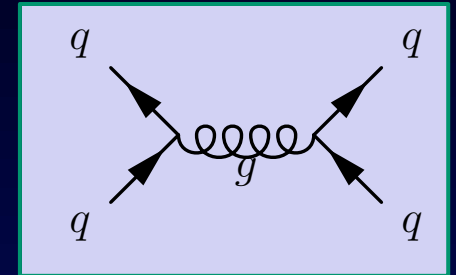
Werkt op alle deeltjes met massa

Sterke kernkracht:



Werkt op alle quarks

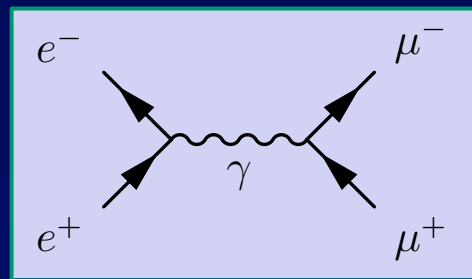
Quantum
gluon exchange:



Elektromagnetische:

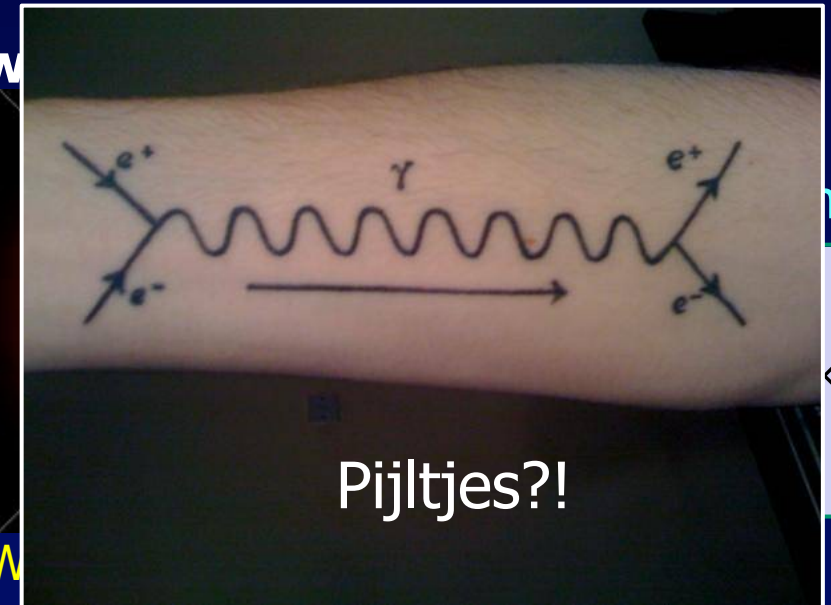


Quantum
photon exchange:



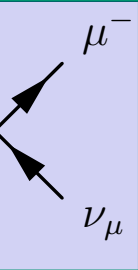
Werkt op alle geladen deeltjes

Zwakke:

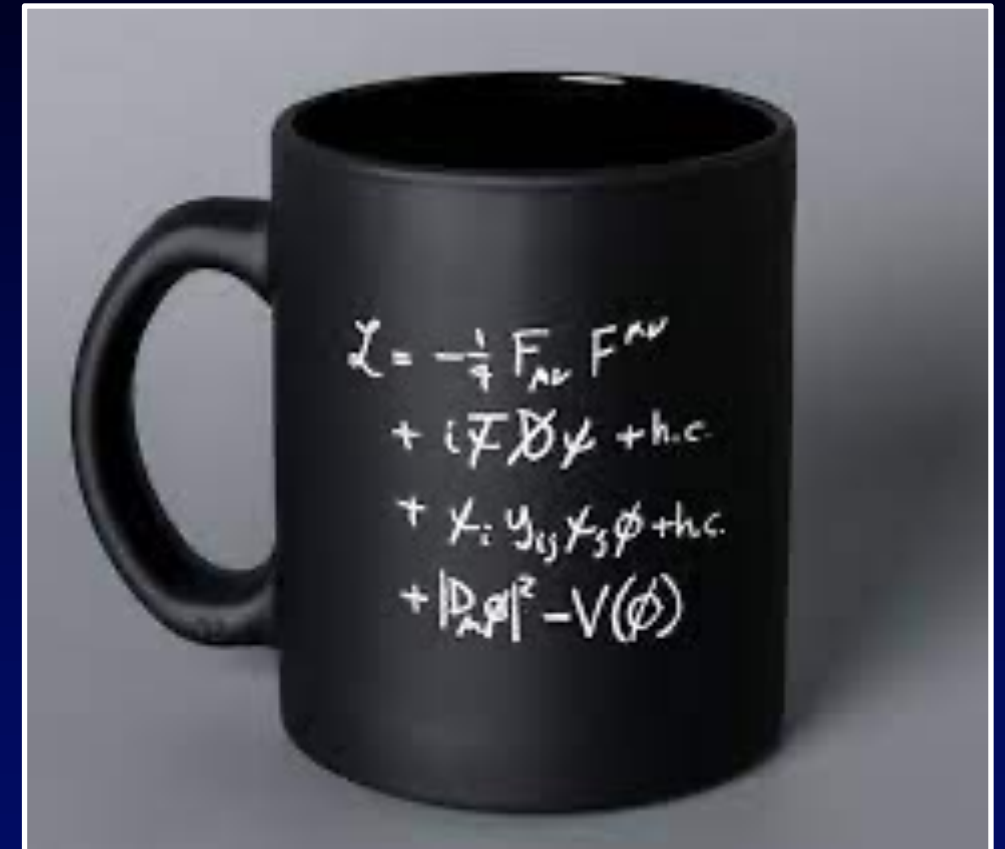
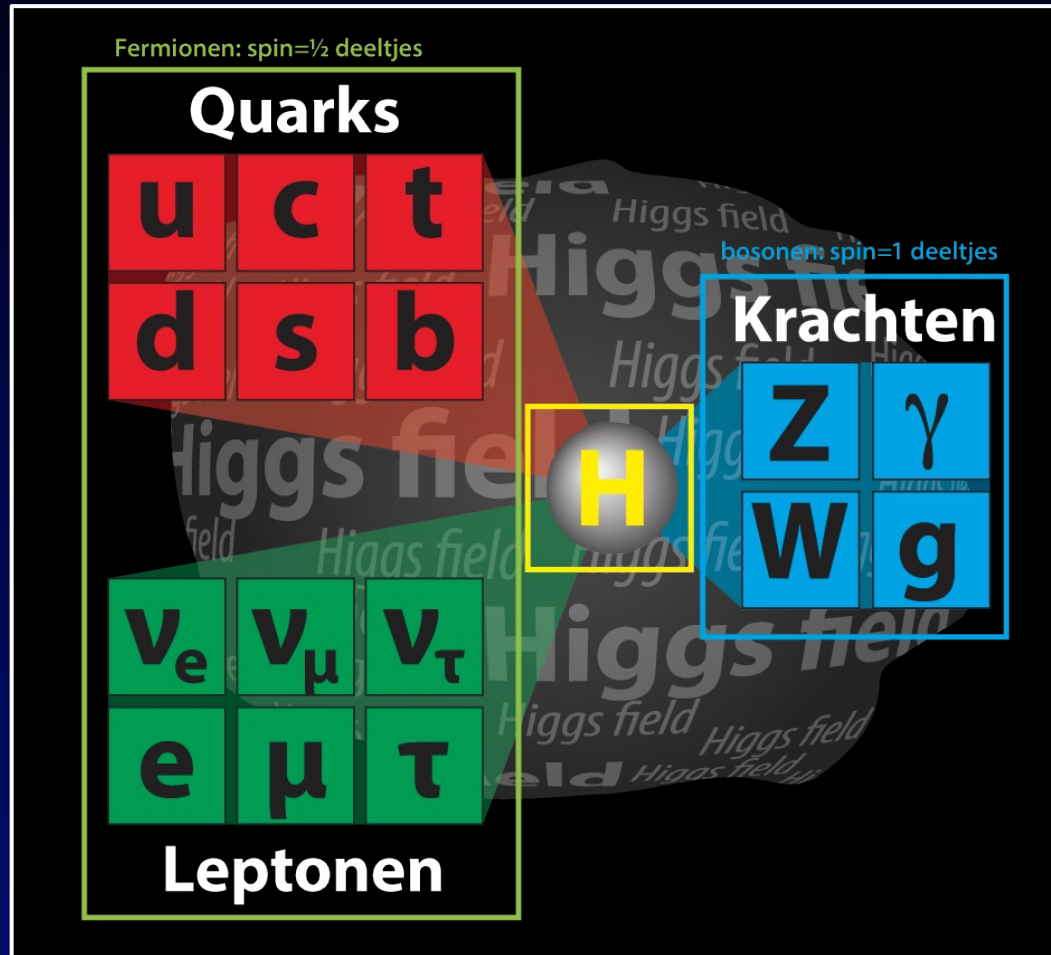


Pijltjes?!

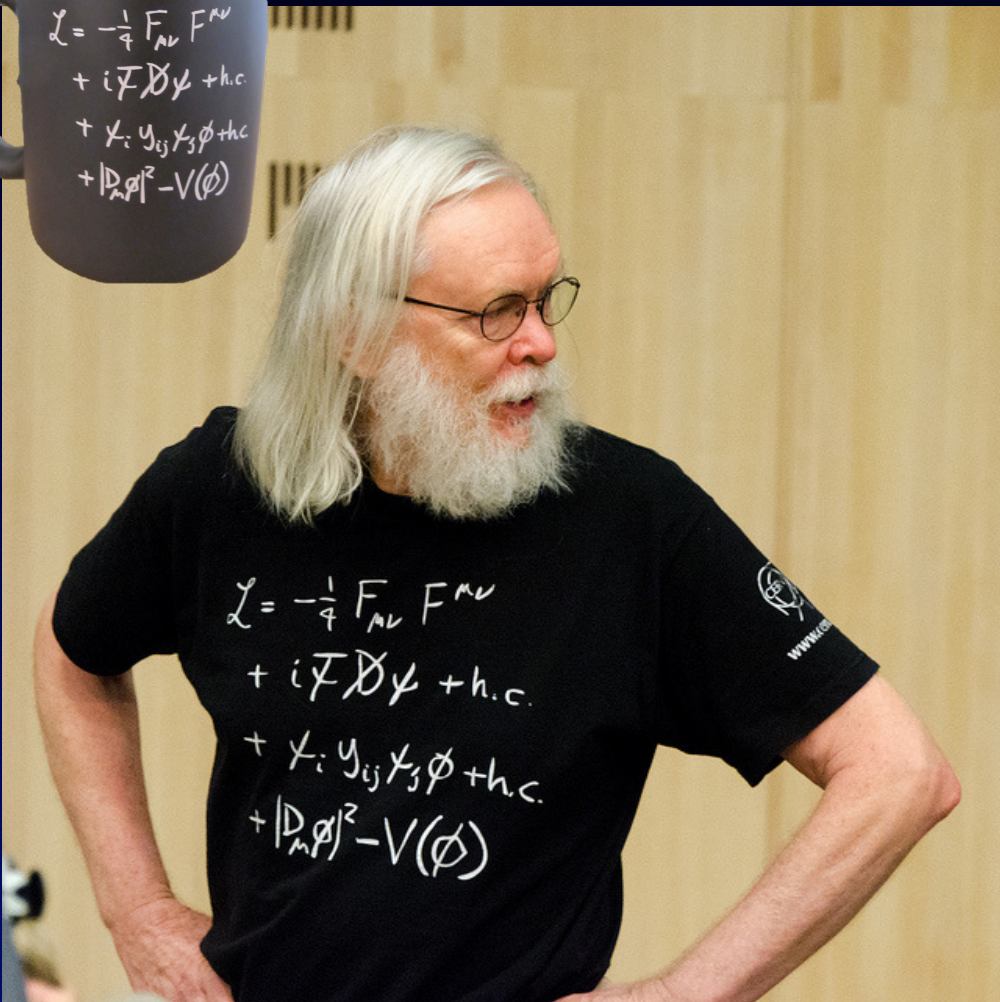
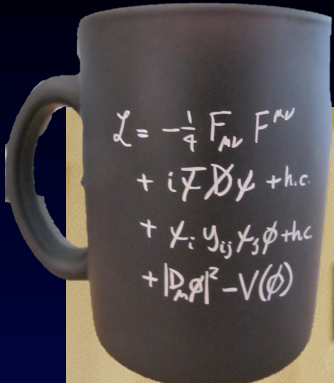
Quantum
W exchange:



Het Standaardmodel: Deeltjes en Krachten



Standaard Model: Theorie



$$-\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^b \partial_\mu g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \frac{1}{2}ig_s^2 (\bar{q}_i^\mu \gamma^\mu q_j^\mu) g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu + \frac{1}{2}m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2} M q \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - igc_w [\partial_\nu W_\nu^+ W_\mu^- - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\nu^0 (W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+) - ig s_w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\mu^0 Z_\nu^0 g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 W_\nu^+ W_\mu^- - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H\phi^0 \phi^0 + \frac{1}{8}g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^-] + gM W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\nu^0 H - \frac{1}{2}ig [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0))] + \frac{1}{2}g [W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - \phi^+ \partial_\mu H] + \frac{1}{2}g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - ig \frac{s_w}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ ig s_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - ig s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0 \frac{1}{2}g^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 Z_\nu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma^\lambda + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma^\lambda \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma^\lambda + n m_\lambda^j) d_j^\lambda + ig s_w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\lambda e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\lambda u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\lambda d_j^\lambda)] + \frac{1}{4} \gamma^5 \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - 1) (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda \gamma^5) C_{\lambda\mu} d_j^\lambda] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\mu}^\gamma \gamma^\mu (\frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_\lambda^2}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \frac{g}{2} i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_\lambda^2 (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\mu} (1 - \gamma^5) d_j^\lambda) + n \gamma^5) d_j^\lambda] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_\lambda^2 (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\mu}^\gamma (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) - m_\lambda^2 (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\mu}^\gamma \frac{g m_\lambda^2}{2M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g m_\lambda^2}{2M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2M} \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2} igc_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - igc_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^- - igc_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + ig s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \frac{1}{2}gM[\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w} \bar{X}^0 X^0 H] + \frac{1-2c_w^2}{2c_w} ig[\bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} igM[\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2}igM[\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]$$



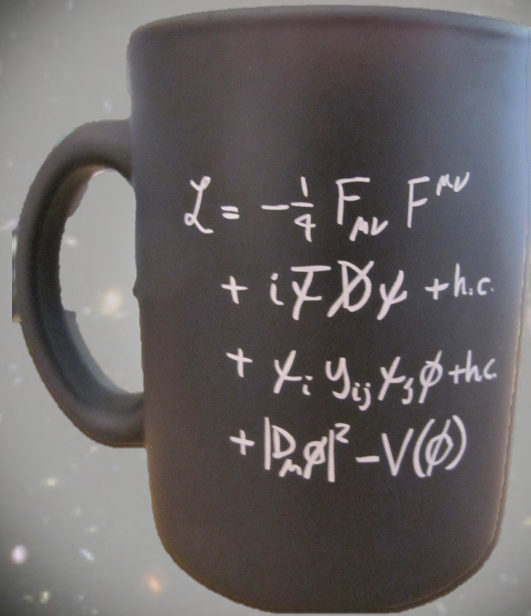
Het Standaard Model



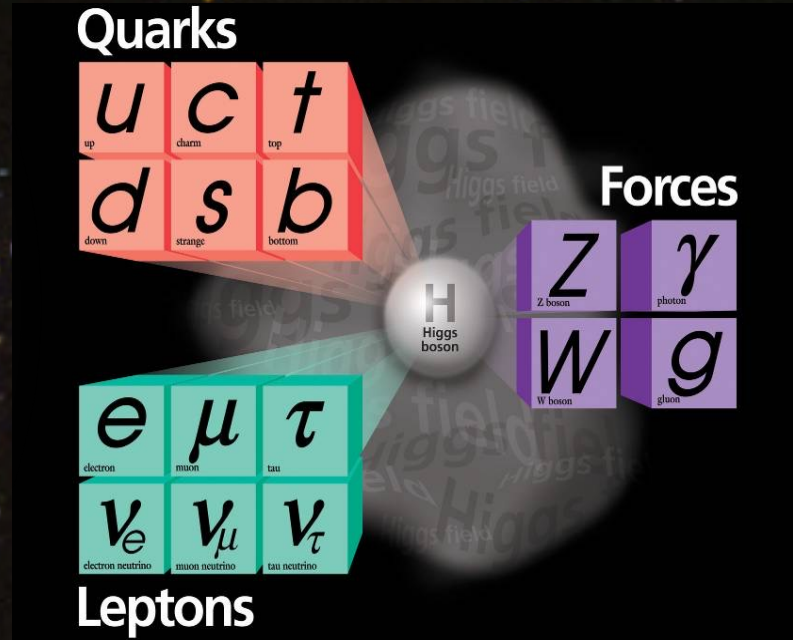
$$i \int d^4 y e^{-i p \cdot y} \langle \rho(p) | T (V-A) \mu(0) j_B^{\dagger}(y) | 0 \rangle$$
$$= i \Gamma^{\mu}(p, \ell^2) \frac{\epsilon^{\mu \nu \alpha \beta} (q - 2p)_{\nu} \mu^{\alpha} + i \Gamma^{\mu}(p^2, \ell^2)}{p_{\nu}^2}$$
$$= i \Gamma^{\mu}(p, \ell^2) \epsilon_{\nu \alpha \beta \gamma} \epsilon^{\alpha \beta \gamma \mu} q_{\nu} p_{\rho} \gamma_{\rho} = i \Gamma^{\mu}(p, \ell^2)$$
$$= i \int d^4 y \langle K^{\dagger}(p) | A_{\rho} \sigma_{\mu \nu} \gamma_{\rho} \epsilon^{\mu \nu \alpha \beta} (z p + q)_{\nu} - \epsilon^{\mu \nu \alpha \beta} (z p + q)_{\nu} - \epsilon^{\mu \nu \alpha \beta} (z p + q)_{\nu} \rangle$$
$$B(p^2, \ell^2) \{ \epsilon^{\mu \nu \alpha \beta} \} = Z C(p^2, \ell^2)$$

Het Standaard Model

"De formules"



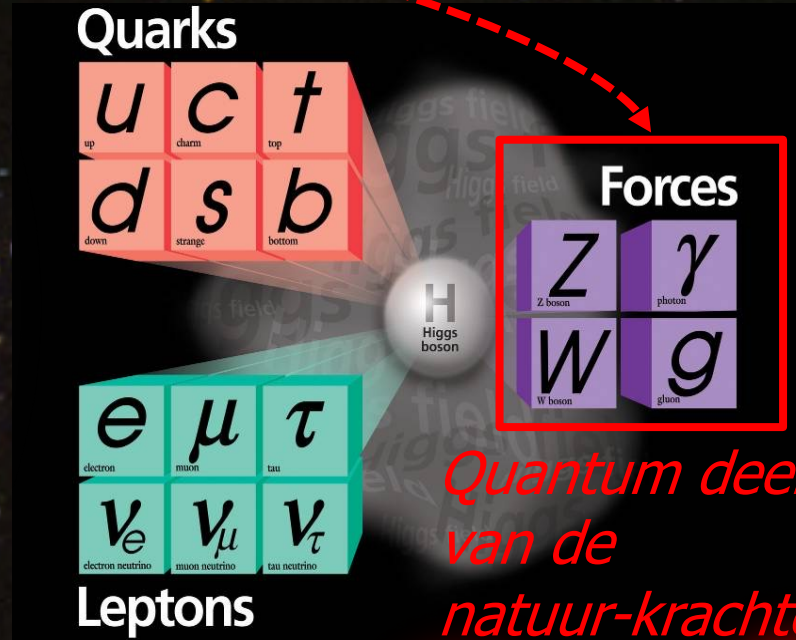
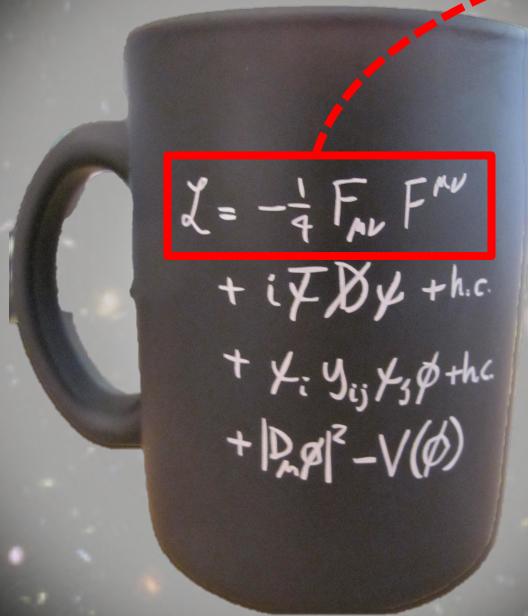
"De bouwstenen van de natuur"



Het Standaard Model

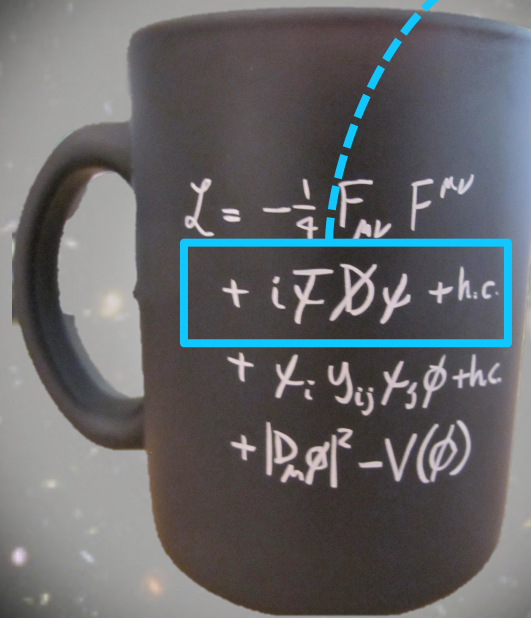
"De formules"

"De bouwstenen van de natuur"

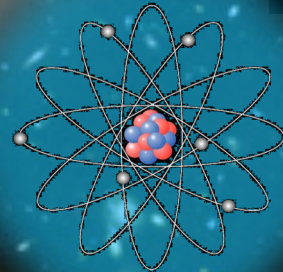
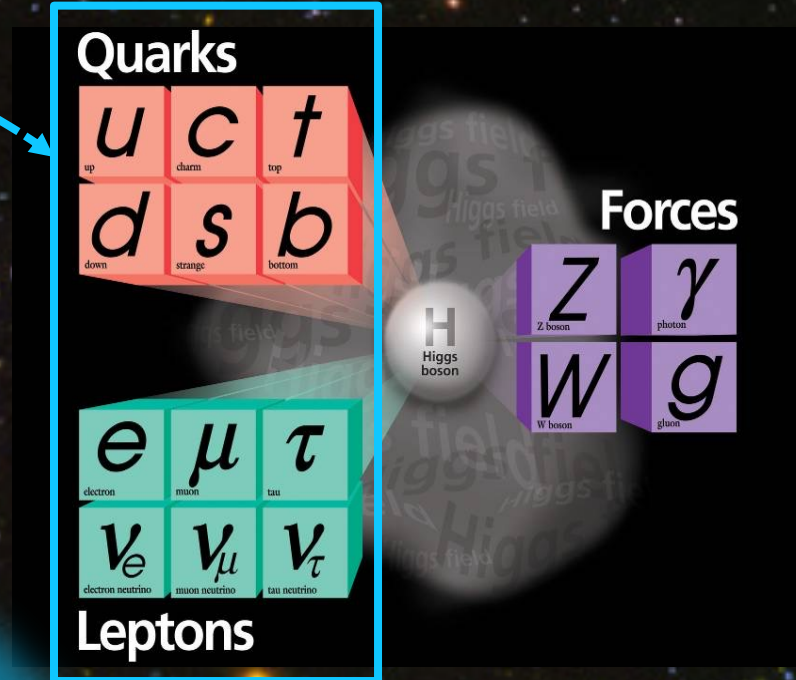


Het Standaard Model

"De formules"



"De bouwstenen van de natuur"

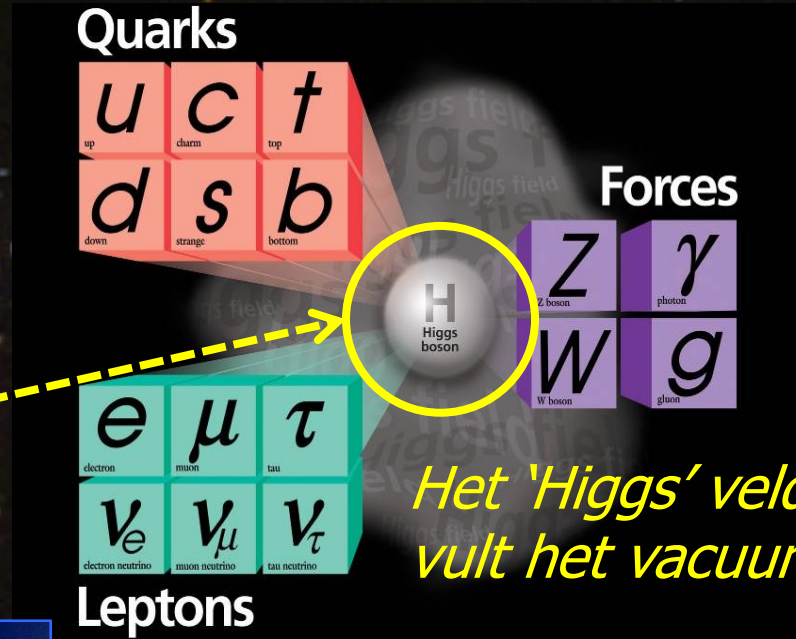
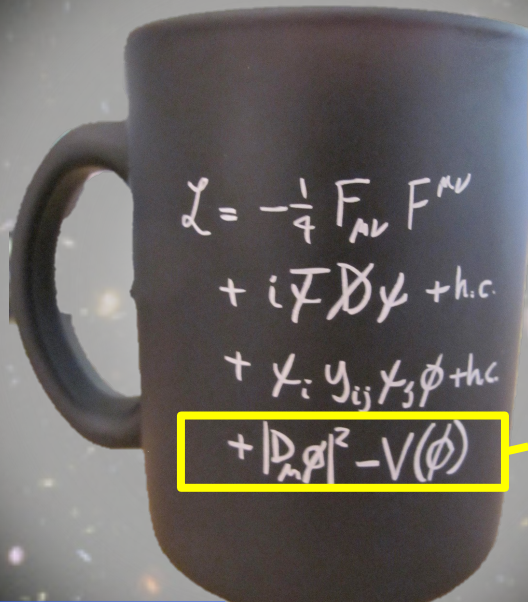


Bouwstenen van materie

Het Standaard Model

"De formules"

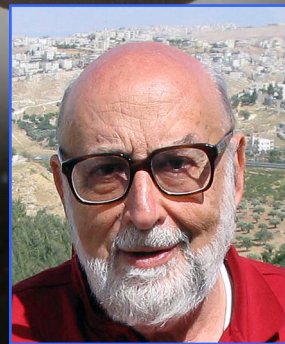
"De bouwstenen van de natuur"



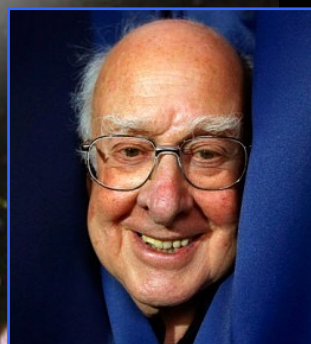
Het 'Higgs' veld vult het vacuum



Brout



Englert



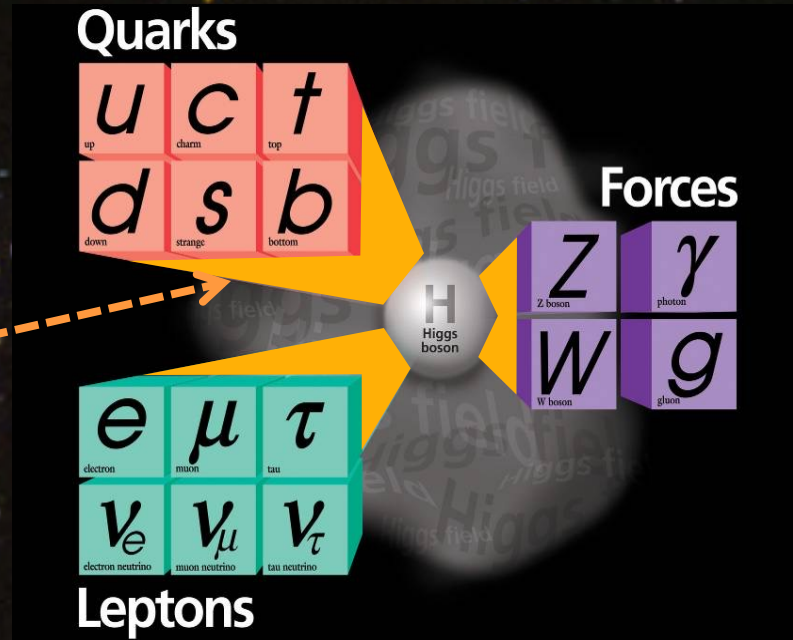
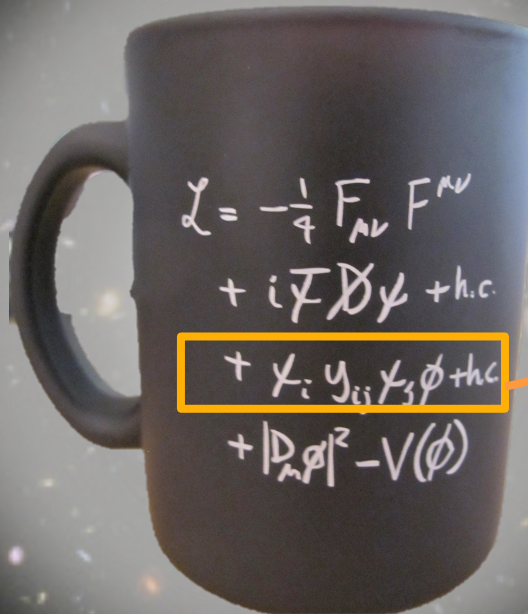
Higgs

*1964:
Standaard Model voorspelling:
lege ruimte is niet leeg!*

Het Standaard Model

"De formules"

"De bouwstenen van de natuur"



Kobayashi



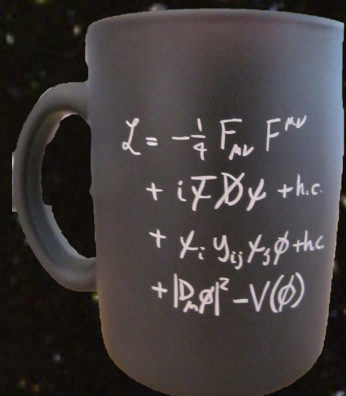
Maskawa

Massa wordt veroorzaakt door het Higgs veld!

1972:

Met 3 kopieën deeltjes is asymmetrie tussen materie en antimaterie mogelijk!

Hoe verdween antimaterie in de Big Bang?



Big Bang



Klein overschot

49.9999999%
anti-materie
50.0000001%
materie



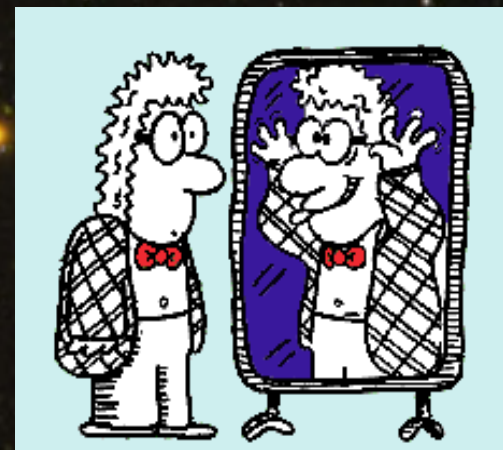
Domineert

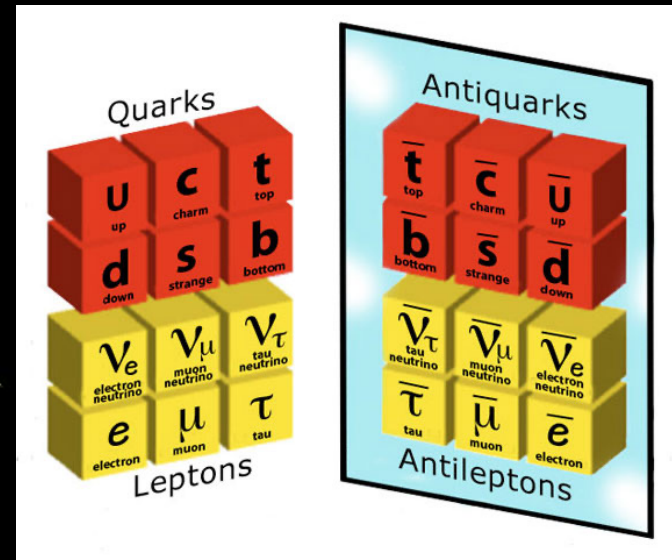
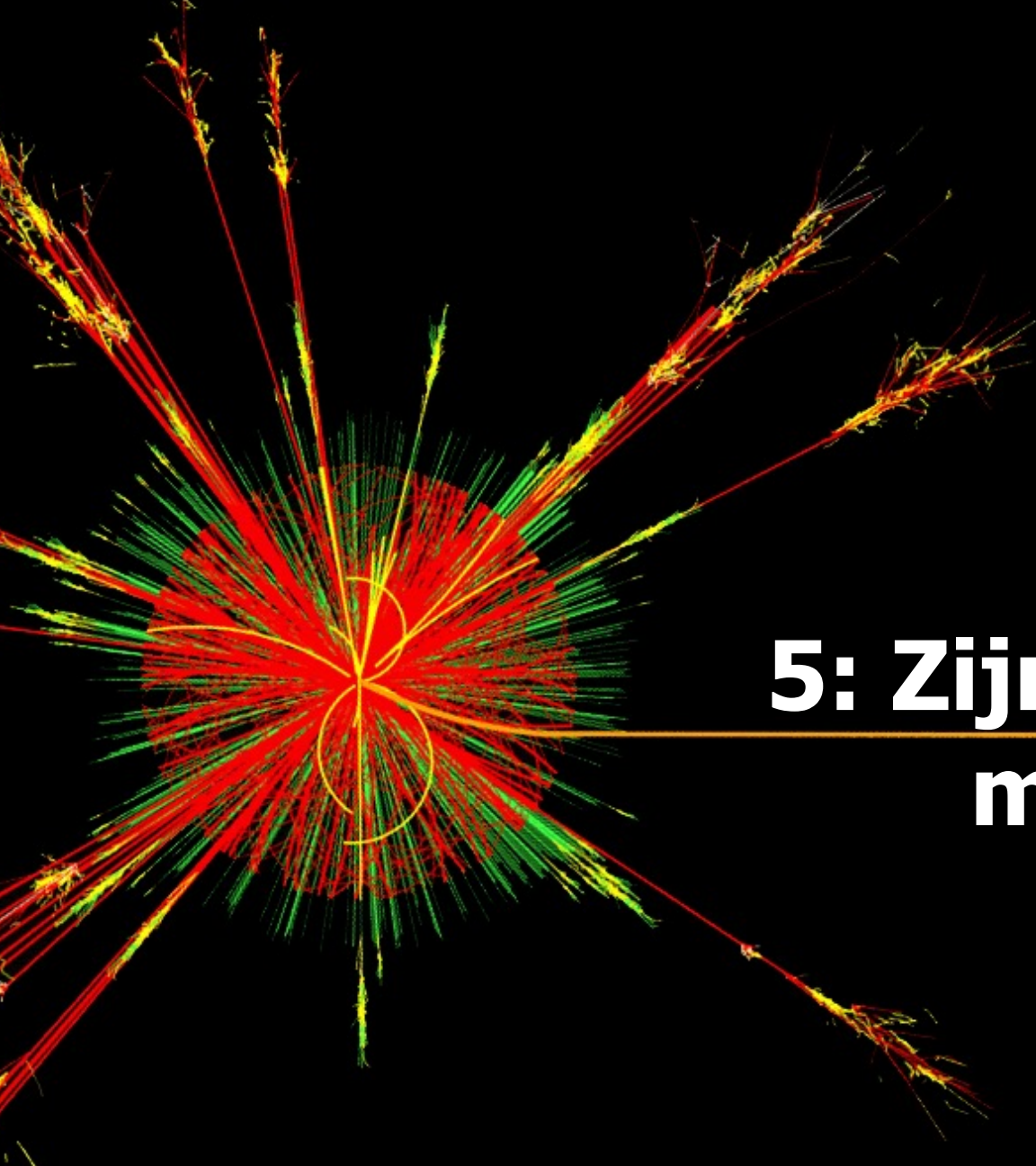
0.000001%
materie

(+99.999999%
straling)

*Antimaterie niet het exacte
spiegelbeeld van materie?*

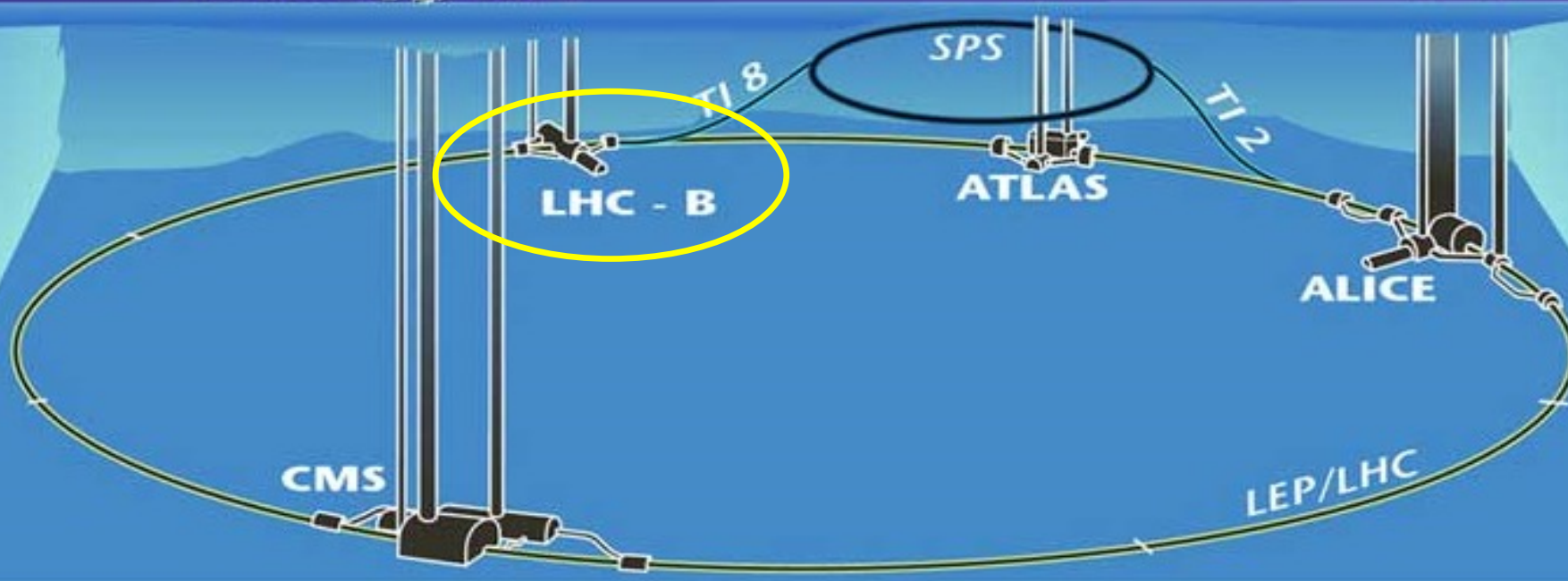
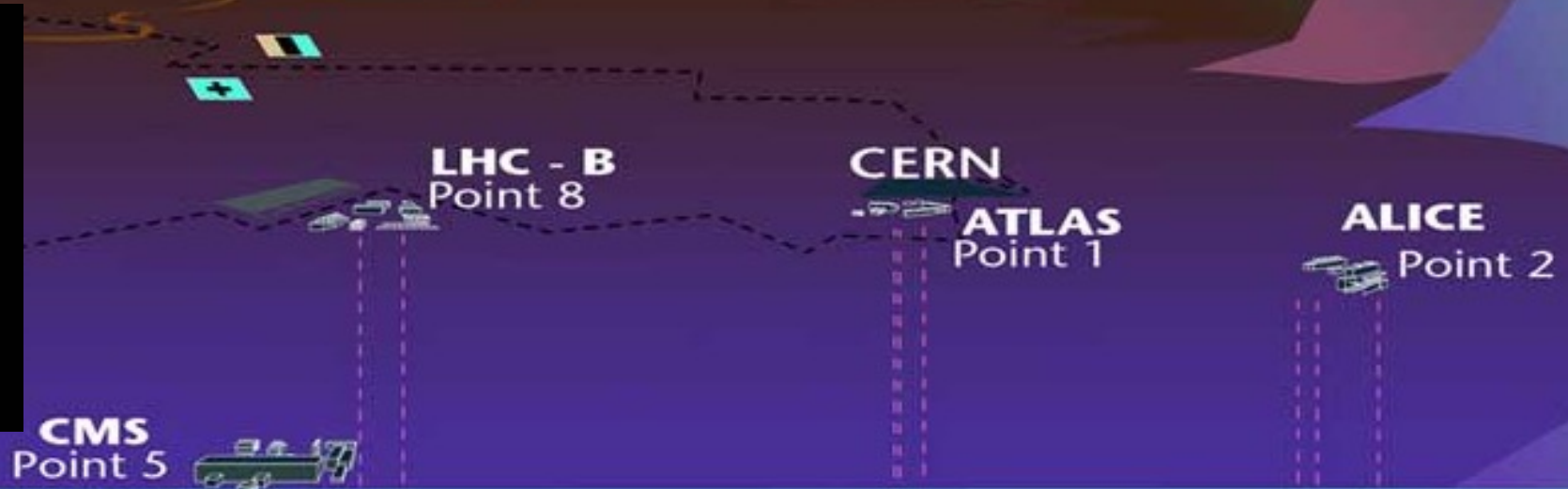
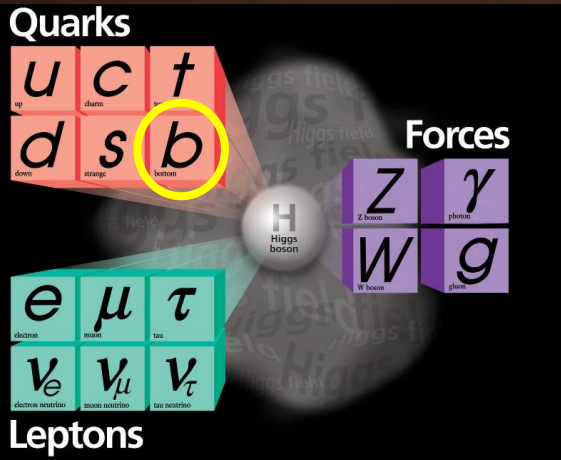
*In de theorie zijn hiervoor drie
generaties van deeltjes nodig!*



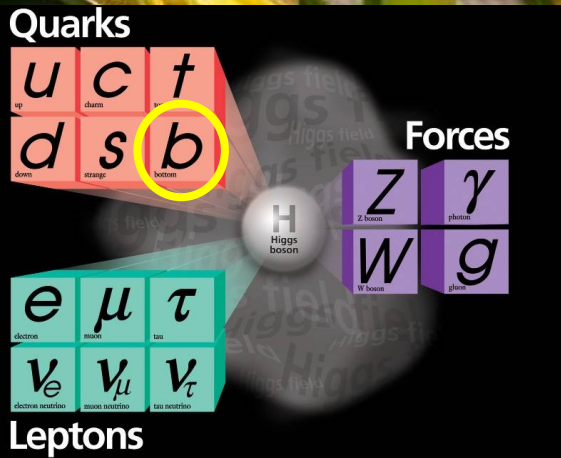


5: Zijn krachten identiek voor materie and antimaterie?

LHCb experiment: vervallen van **B** deeltjes



LHCb Detector: B-deeltjes



Zoom in op botsingspunt

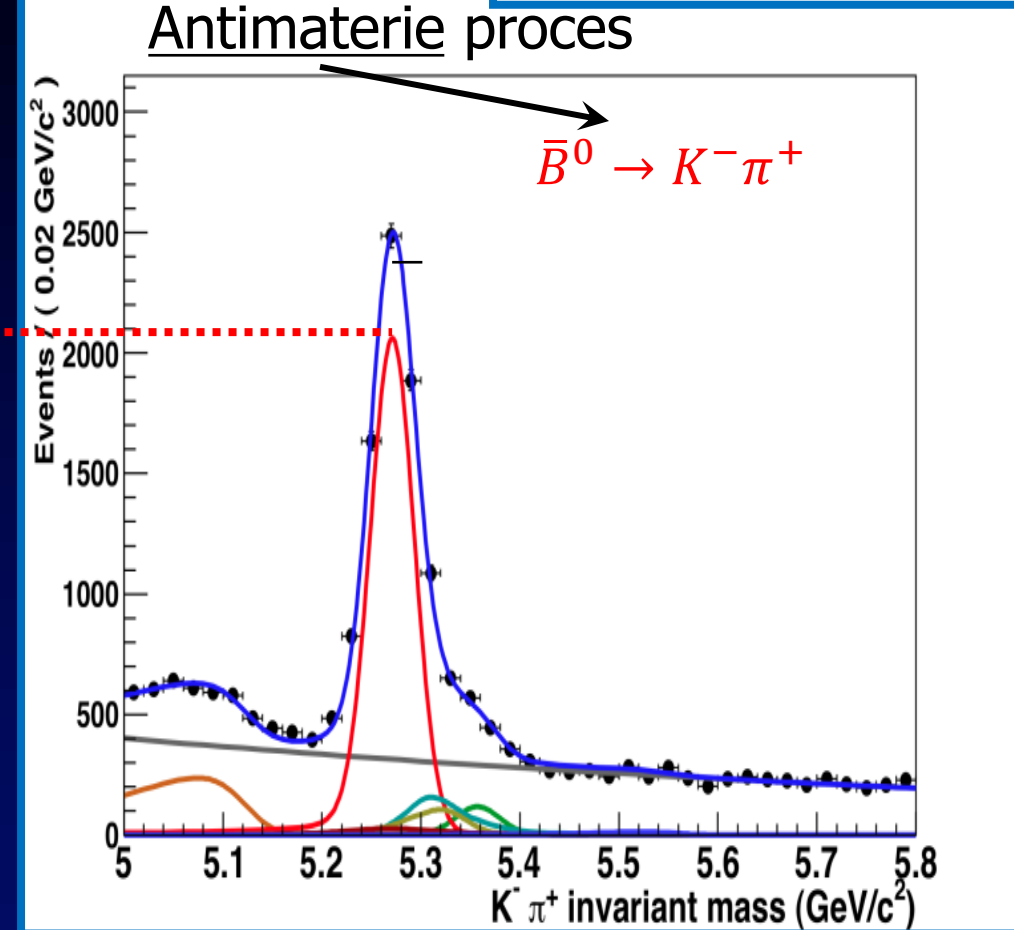
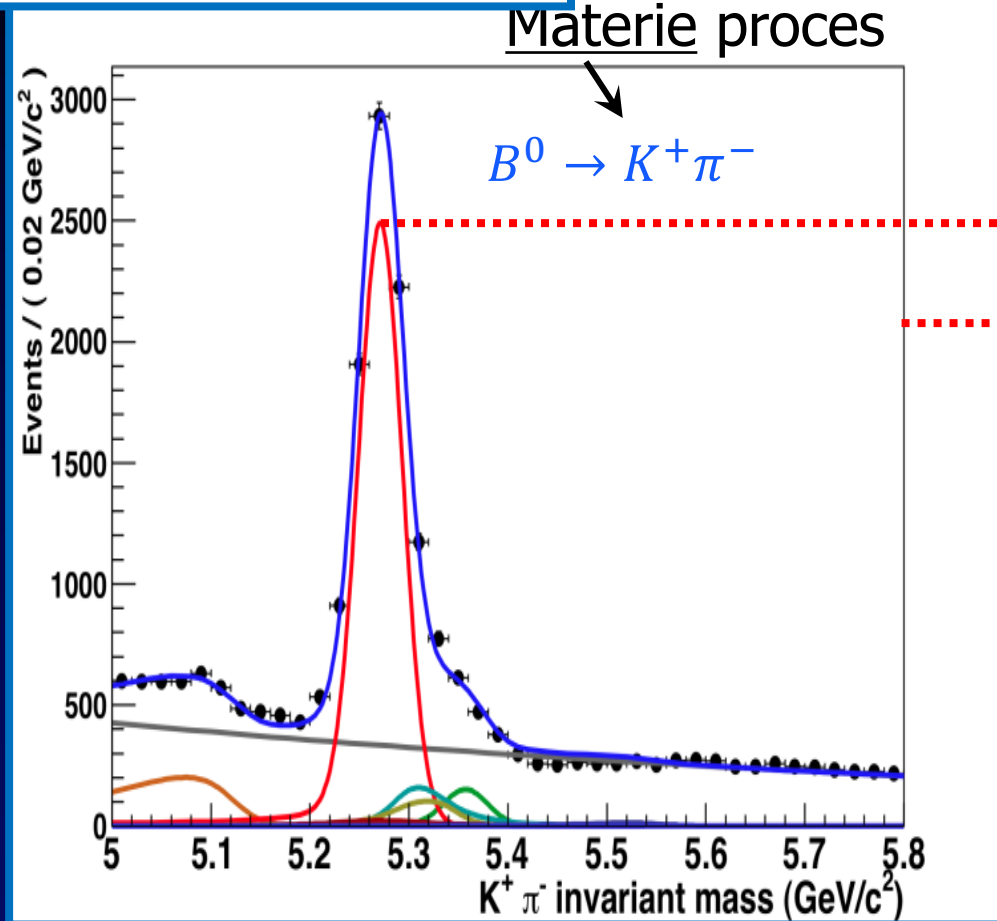
Reconstrueer miljoenen B -deeltjes vervallen en selecteer interessante gevallen. Gaat dit anders bij materie dan bij antimaterie?



B-vervalsproces: materie vs antimaterie

***B* deeltje** verval naar
een K^+ en een π^- particle

***anti-B* deeltje** verval naar
een K^- en een π^+ deeltje



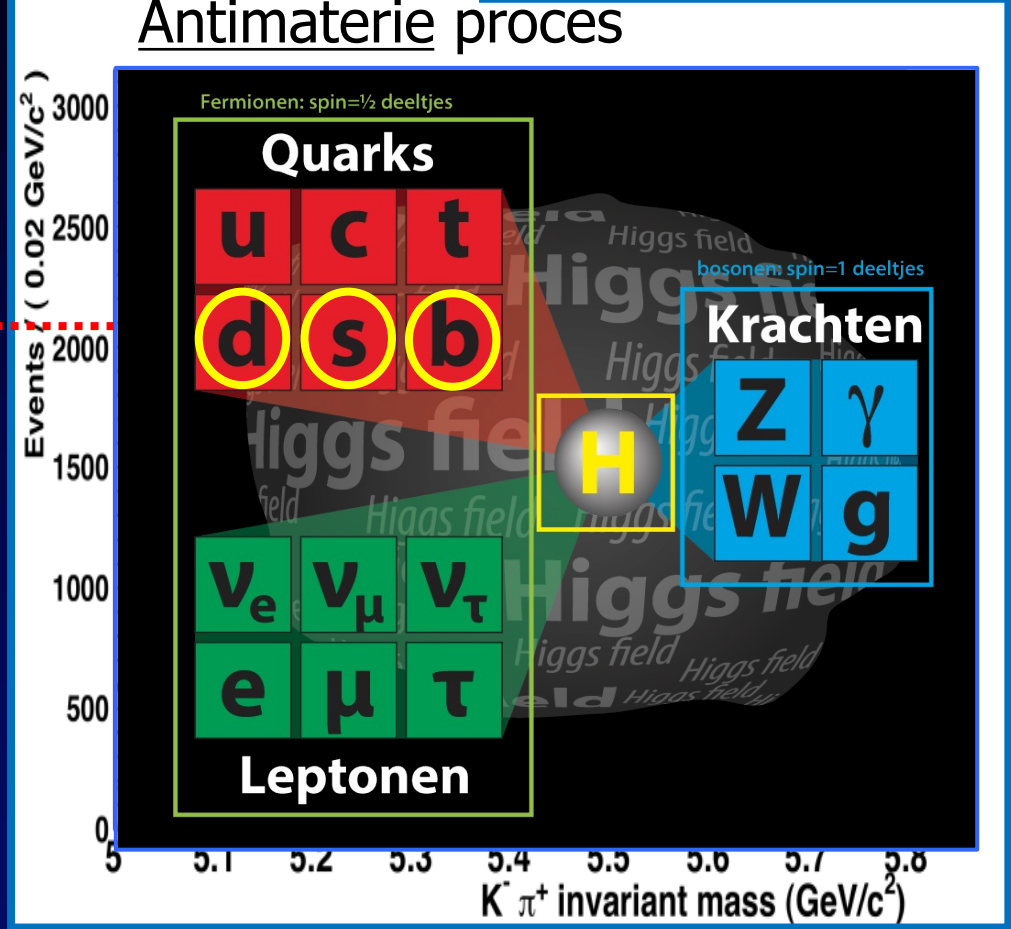
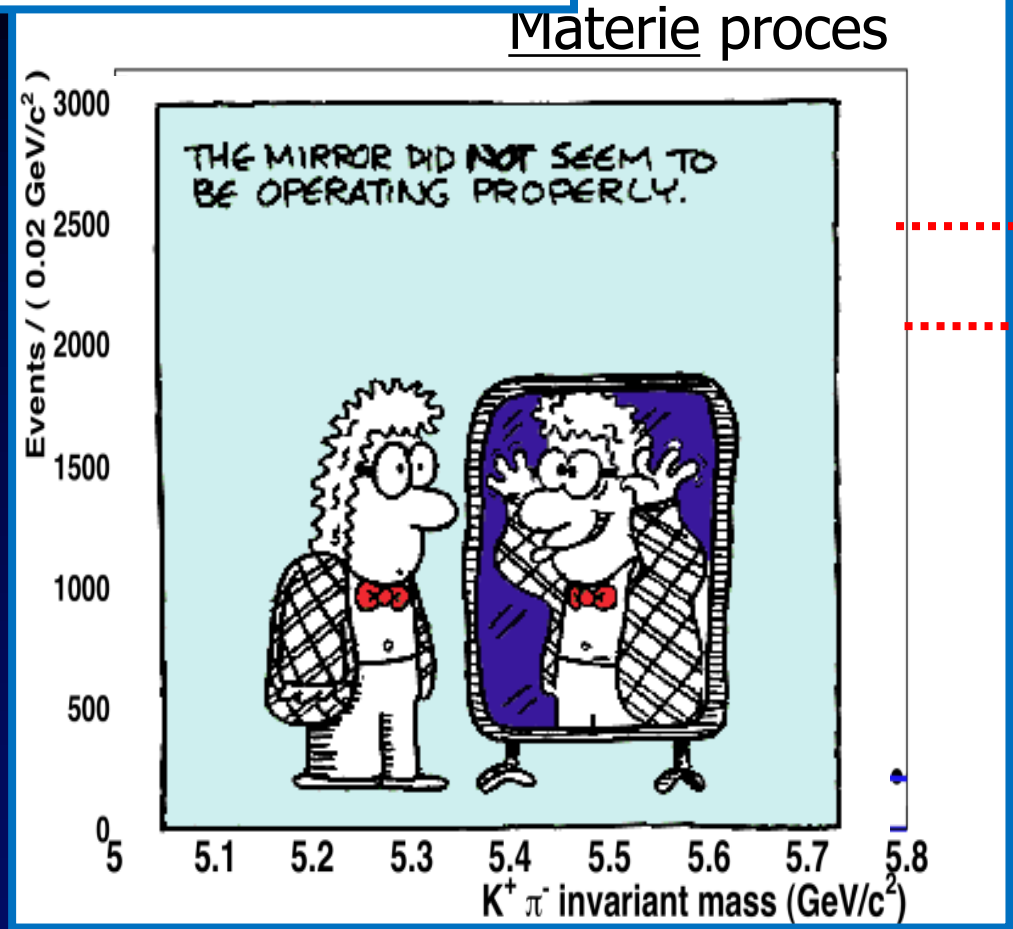
Asymmetrie: Materie vervalsproces anders dan antimaterie versie!

Quantum krachten tussen deeltjes en anti-deeltjes ***niet altijd identiek!***

B-vervalsproces: materie vs antimaterie

B deeltje verval naar een K^+ en een π^- particle

anti-B deeltje verval naar een K^- en een π^+ deeltje



The materie – antimaterie symmetrie is verbroken

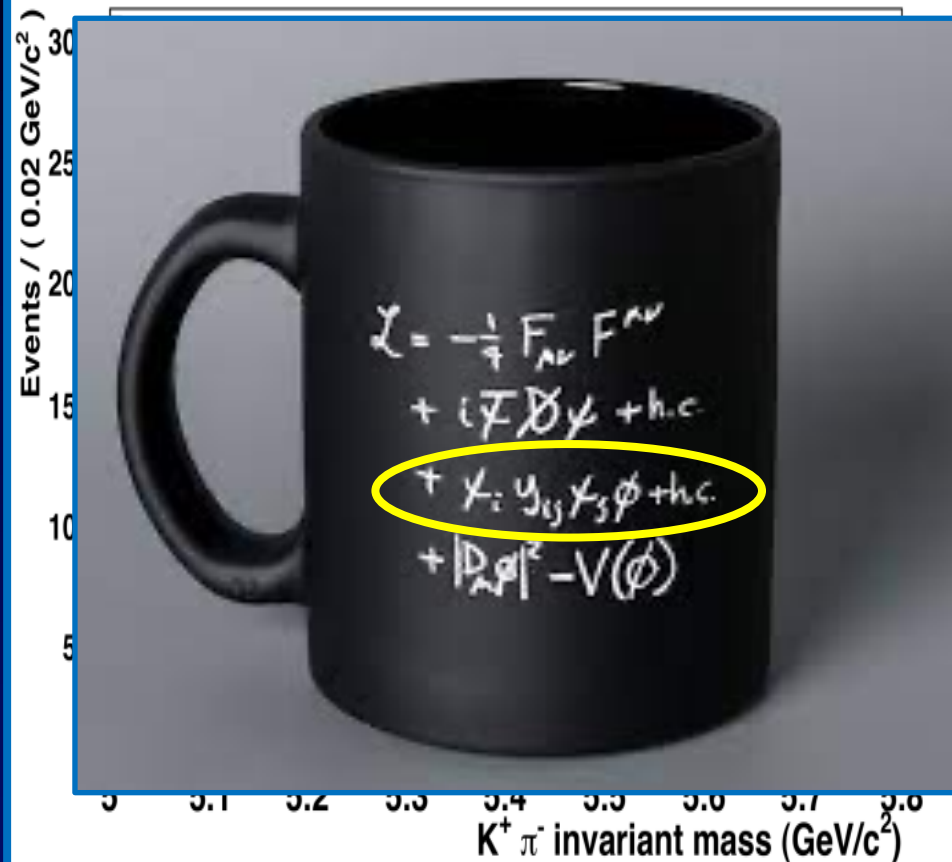
Dit gebeurt **alleen** als er tenminste **drie generaties** deeltjes bestaan!!!

B-vervalsproces: materie vs antimaterie

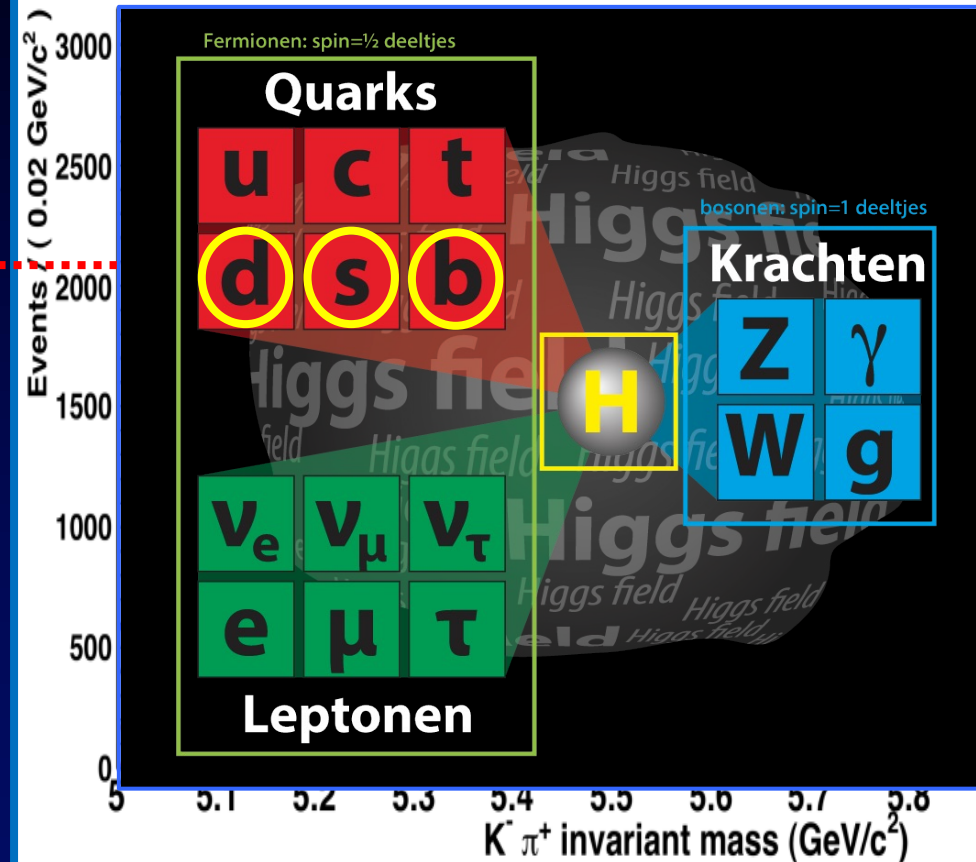
B deeltje verval naar
een K^+ en een π^- particle

anti-B deeltje verval naar
een K^- en een π^+ deeltje

Materie proces



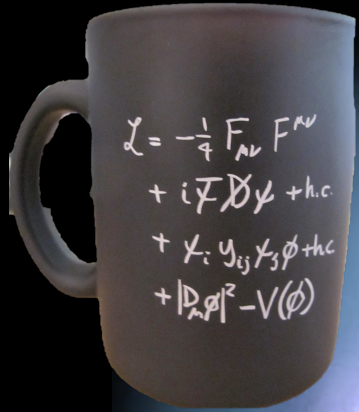
Antimaterie proces



The materie – antimaterie
symmetrie is verbroken

Dit gebeurt **alleen** als er tenminste
drie generaties deeltjes bestaan!!!

Vroege Universum: waar is de antimaterie heen?



- Asymmetrie in kracht
- Beetje meer materie dan antimaterie
- Rest annihileert
- Materie universum blijft over



Quarks

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

Leptons

ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino
e electron	μ muon	τ tau

50.000001%

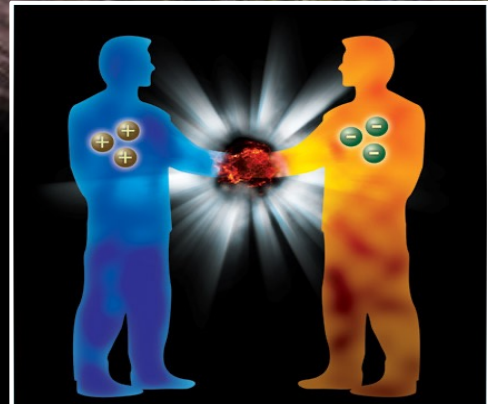
Antiquarks

\bar{t} top	\bar{c} charm	\bar{u} up
\bar{b} bottom	\bar{s} strange	\bar{d} down

Antileptons

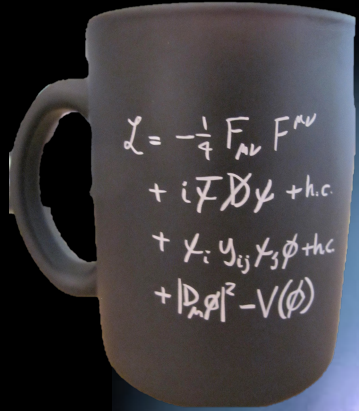
$\bar{\nu}_\tau$ tau neutrino	$\bar{\nu}_\mu$ muon neutrino	$\bar{\nu}_e$ electron neutrino
$\bar{\tau}$ tau	$\bar{\mu}$ muon	\bar{e} electron

49.999999%



"PERFECT! NIKS MEER AAN DOEN!"

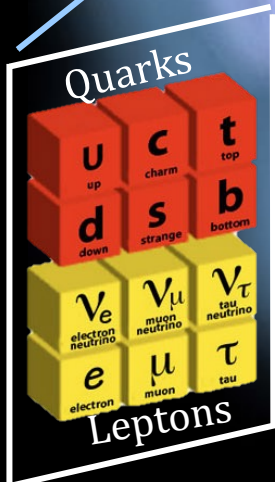
Vroege Universum: waar is de antimaterie heen?



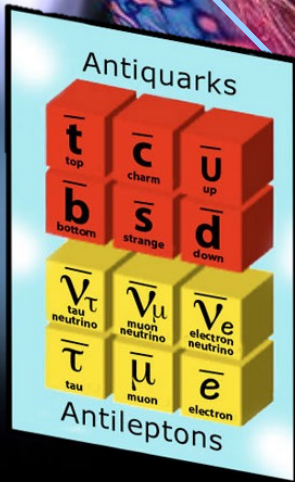
Helaas: het werkt niet!

Asymmetrie is niet groot genoeg.

Verklaring vereist nieuwe kracht of deeltjes!

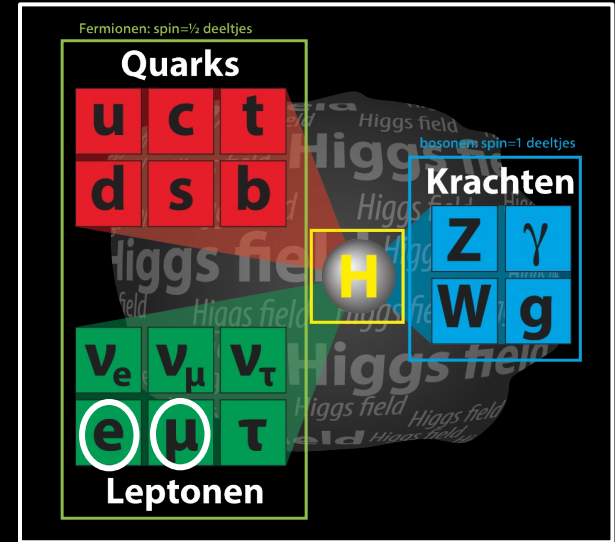
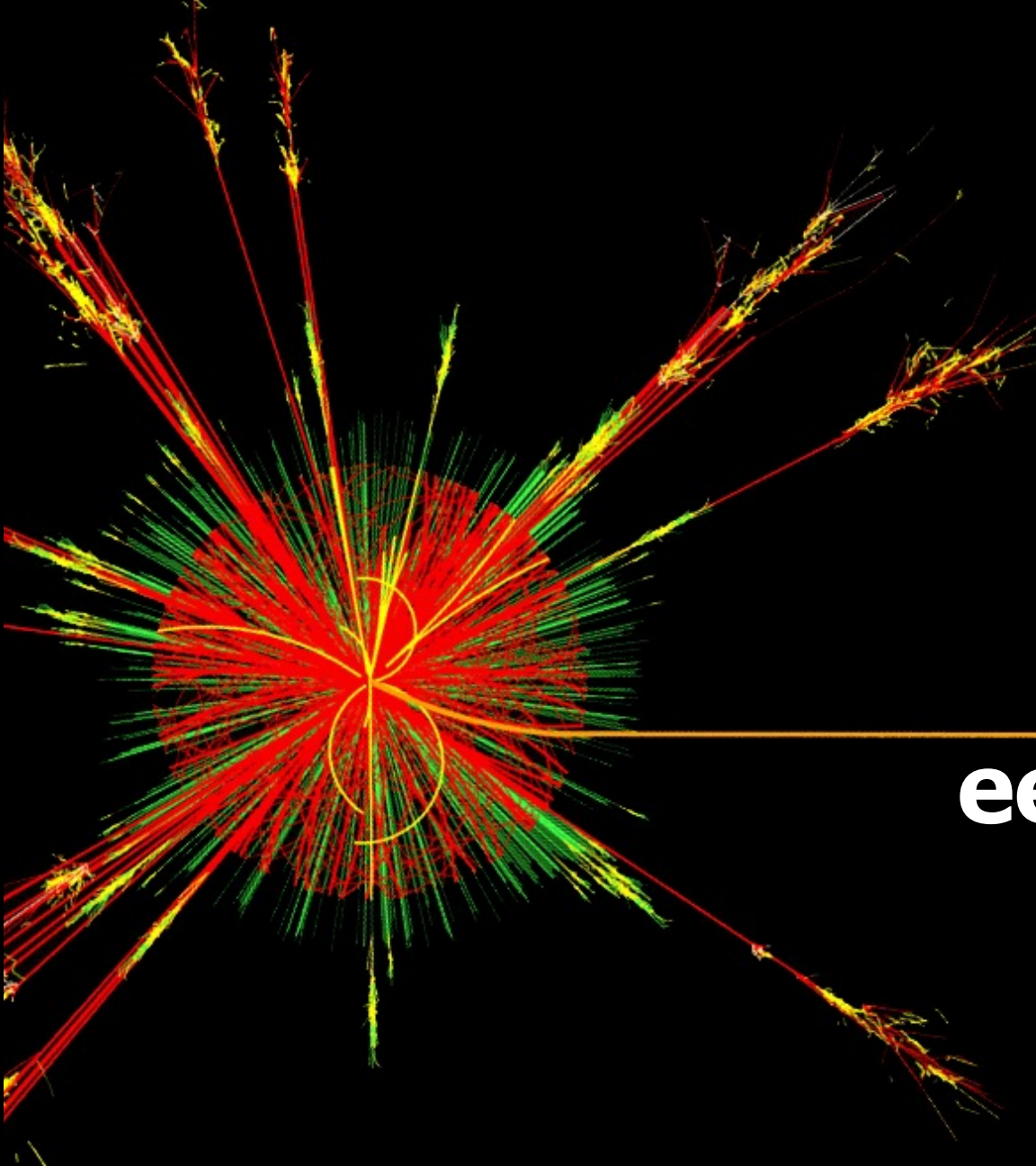


50.000001%



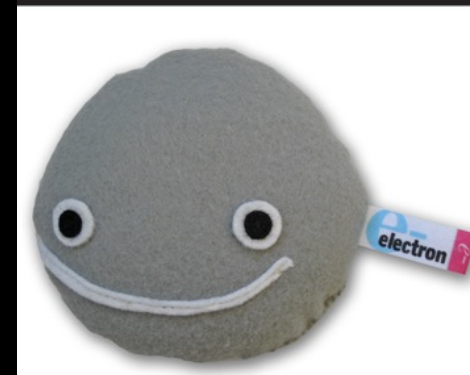
49.999999%





6: Universaliteit en een nieuwe natuurkracht?

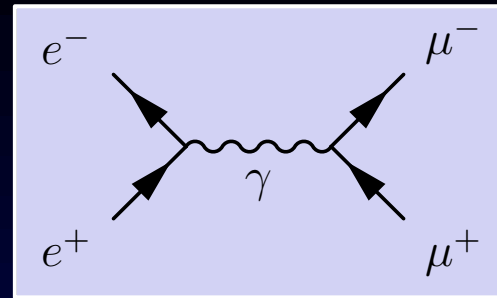
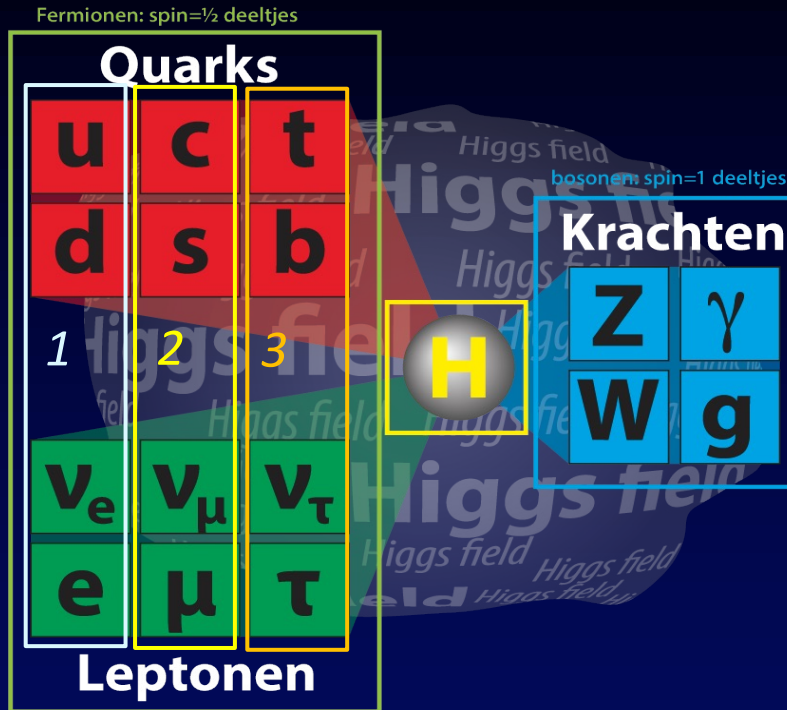
ELECTRON



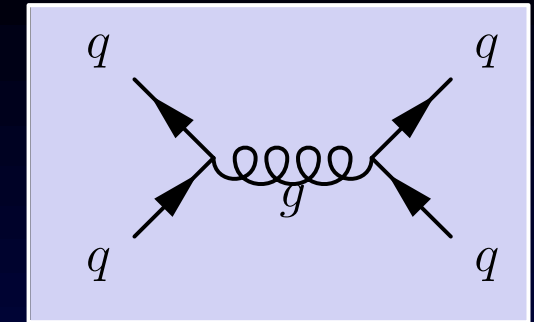
MUON



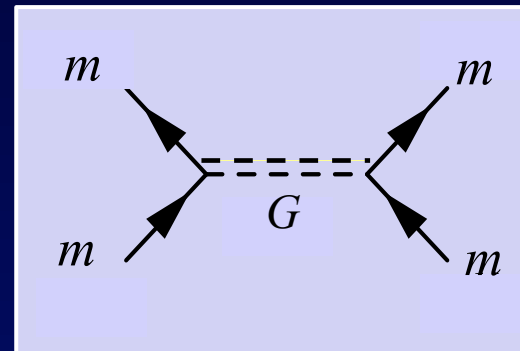
Standaardmodel: Universaliteit van de Krachten



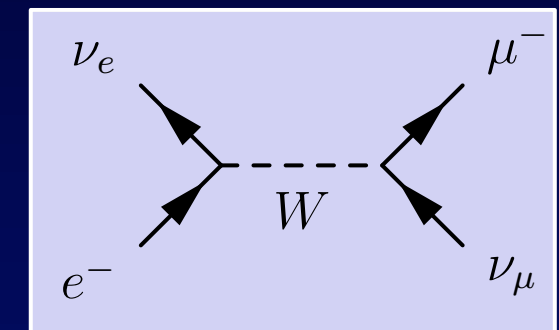
Elektromagnetisme



Sterke kernkracht



Zwaartekracht



Zwakke kernkracht

Krachten zijn identiek voor deeltjes van 1^e, 2^e en 3^e generatie.

→ "Universaliteit"

Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks

u	c	t
d	s	b

Higgs boson: spin=1 deeltjes

Krachten

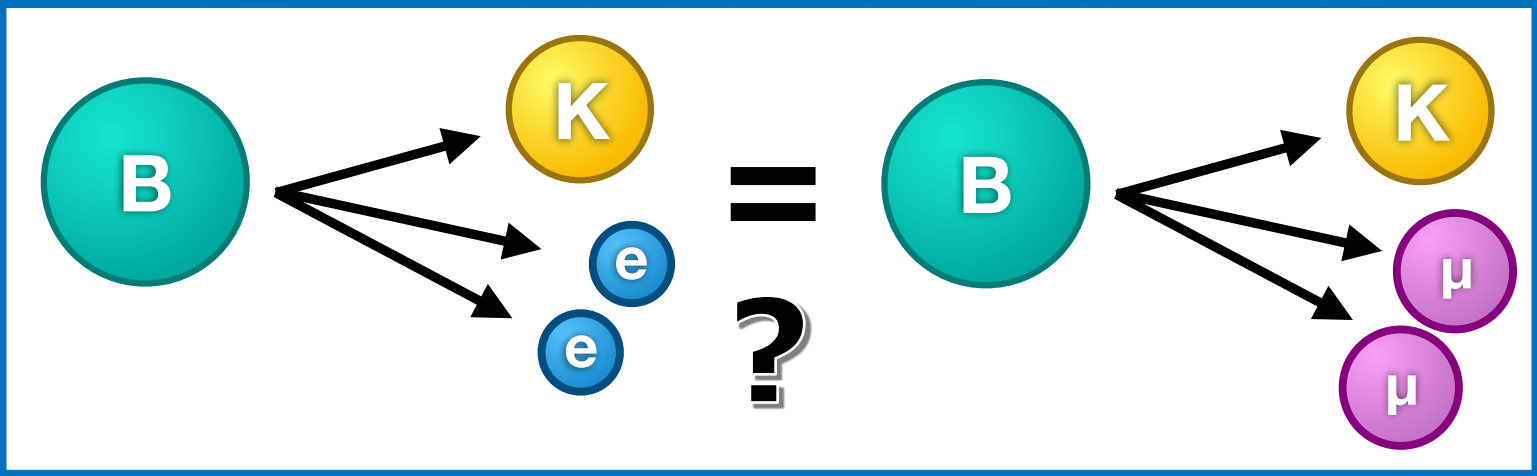
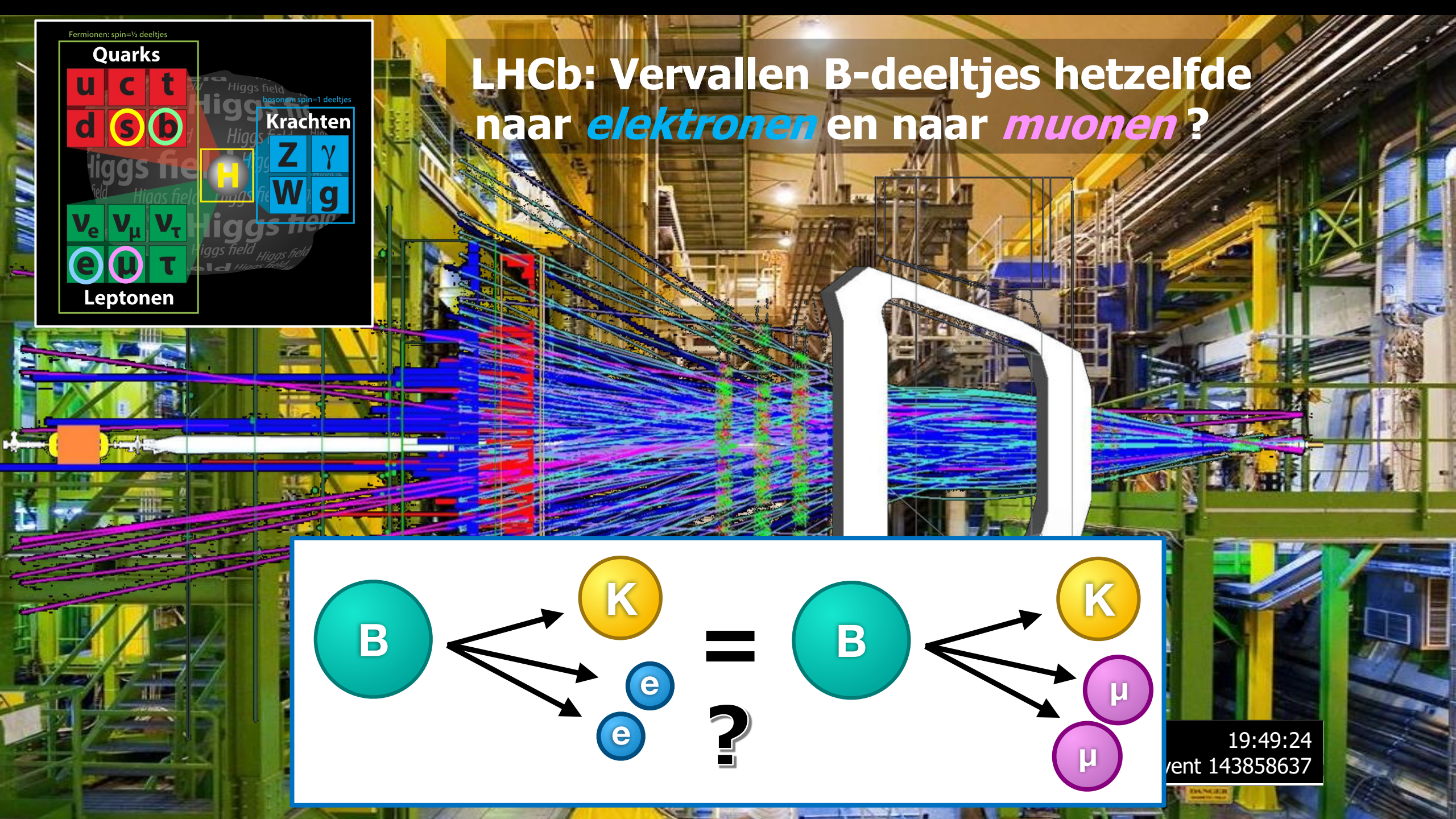
Z	γ
W	g

Leptonen

ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ

Higgs field

LHCb: Vervallen B-deeltjes hetzelfde naar *elektronen* en naar *muonen* ?



LHCb: Vervallen B-deeltjes hetzelfde naar *elektronen* en naar *muonen*?

Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks

u	c	t
d	s	b

Higgs field
bosonen spin=1 deeltjes

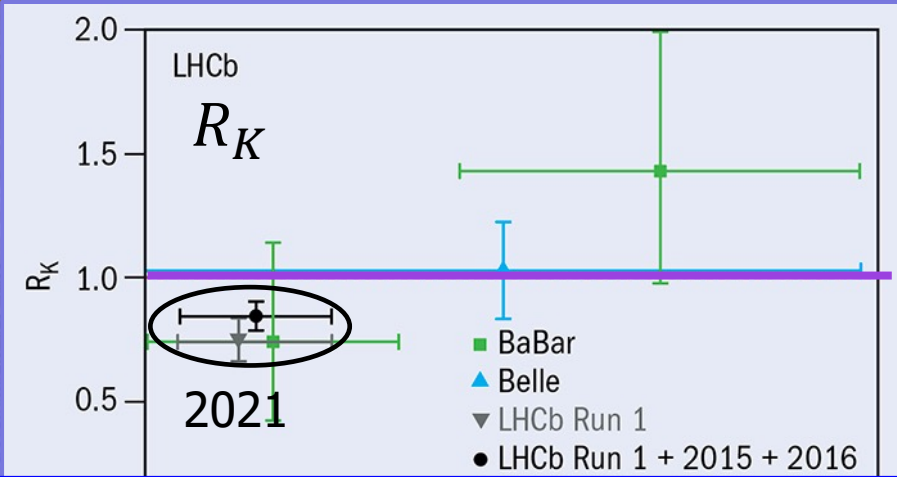
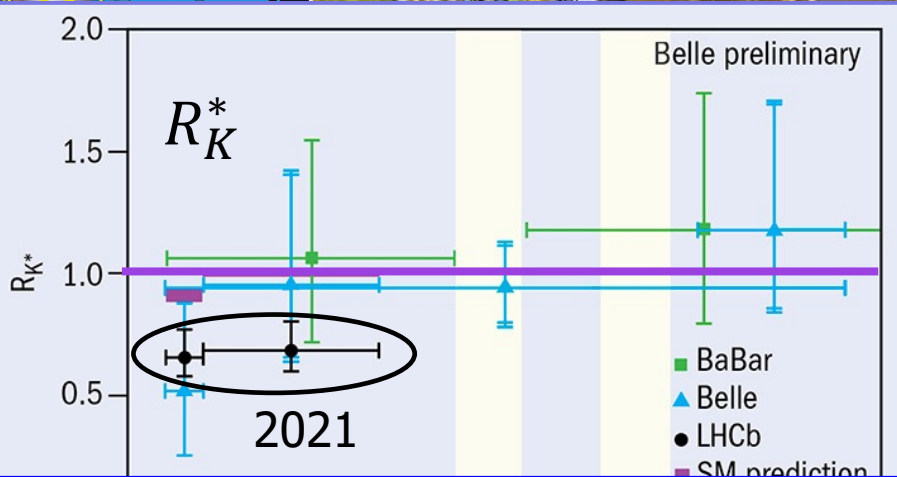
Krachten

Z	γ
---	---

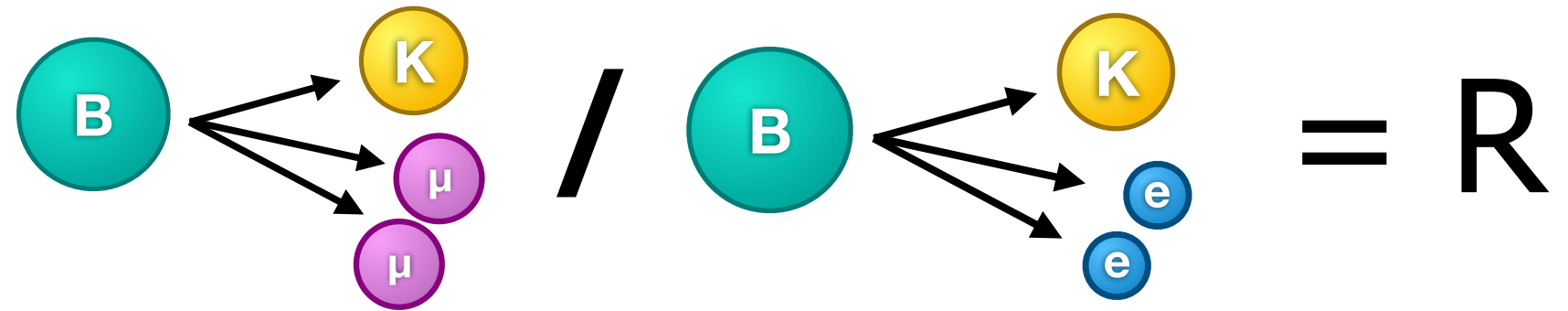
Higgs field

Leptonen

ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ



Recent resultaat: R niet precies 1??
 → Verschillende kracht voor elektronen and muonen?!



23 Maart 2021: Krantenkoppen... "voorzichtige opwinding"

Menu **nrc**

Voorzichtige opwinding onder fysici: deeltje gedraagt zich vreemd

Deeltjesfysica Het muon, het zware broertje van het elektron, gedraagt zich niet altijd als verwacht. Dat kan duiden op een barstje in het standaardmodel.

Margriet van der Heijden 23 maart 2021 Leestijd 3 minuten



Cern experiment hints at new force of nature - Guardian

Experts reveal 'cautious excitement' over unstable particles that fail to decay as standard model suggests



de Volkskrant

NIEUWS

Natuurkundigen van Cern vinden aanwijzing die ons begrip van de werkelijkheid op zijn kop kan zetten

Een gloednieuw deeltje, een nog onbekende natuurkracht... fysici bij onderzoeksinstituut Cern zien ip van de werkelijkheid op z'n ze dinsdag bekend. 'Dit is zoek doe.'

Zijn we een nieuwe natuurkracht aan het ontdekken?!



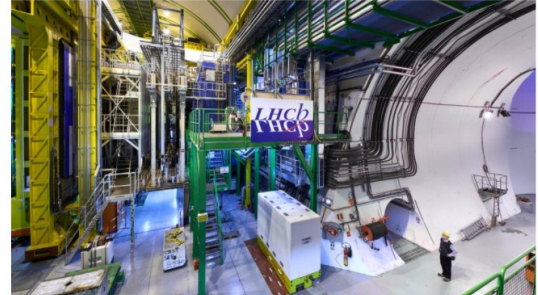
TELEGRAAF.NL
Experts zijn nieuwe natuurkracht op het spoor: 'We trilden helemaal'
Na de vondst van het Higgs-deeltje, negen jaar geleden, klinken er nu opnieuw opgetogen ...

NEWS / LIFE

CERN data on 'beauty quarks' behaviour may rewrite physics as we know it

24 MAR 2021

Beauty quarks or B mesons particles are not decaying as they should and while the findings may warrant "cautious excitement", more research needs to be done, scientists say.



FILE PHOTO: A view of the Large Hadron Collider at CERN, near Geneva, Switzerland. (CERN)



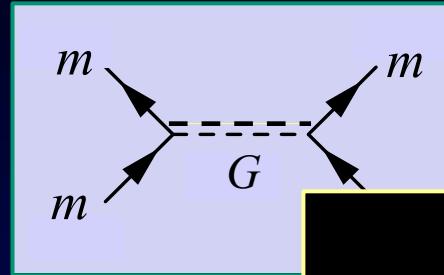
De tunnel van deeltjesversneller LHC bij Cern, Genève. In de blauwe buis zwiepen deeltjes met bijna de lichtsnelheid rond tot ze op elkaar knallen. Tussen de brokstukken van die botsing zoeken fysici naar aanwijzingen voor hoe de wereld op het kleinste niveau werkt. Beeld AP

Vier(?) fundamentele natuurkrachten

Zwaartekracht:

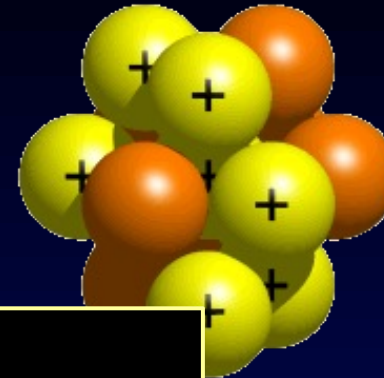


Quantum
Graviton exchange?



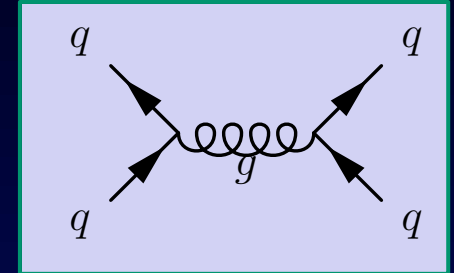
Werkt op alle deeltjes met massa

Sterke kernkracht:



alle quarks

Quantum
gluon exchange:



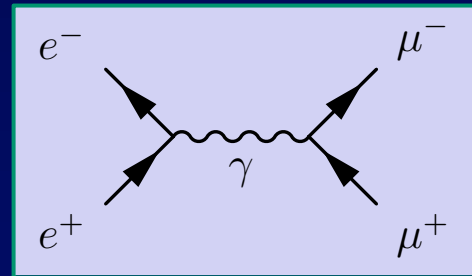
+ ????

Vijfde kracht?

Elektromagnetisme:

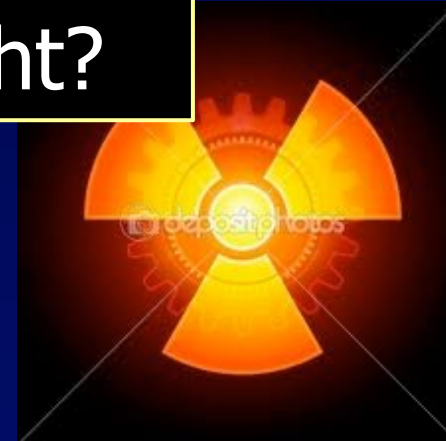


Quantum
photon exchange



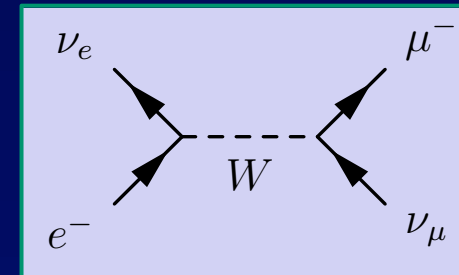
Werkt op alle elektrisch geladen deeltjes

Wakernkracht:

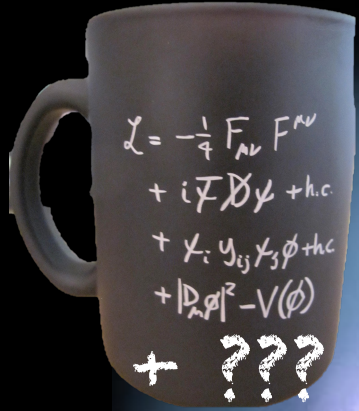


Werkt op alle deeltjes

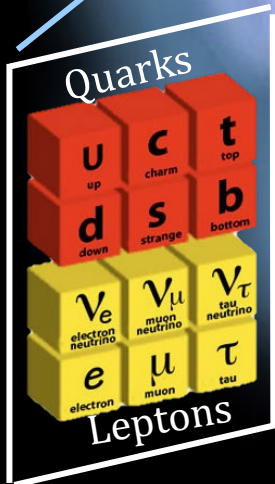
Quantum
W, Z exchange:



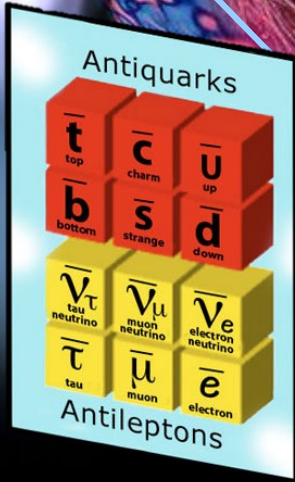
Conclusie: Hoe is de antimaterie verdwenen in het universum?



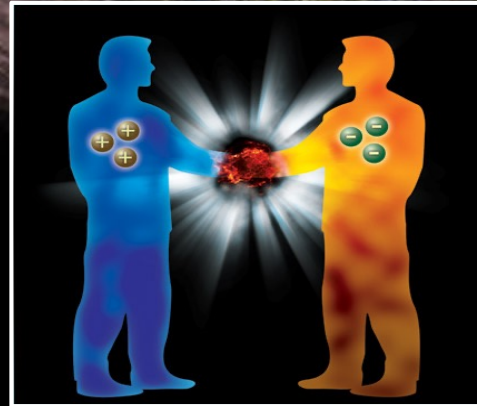
Door een vijfde kracht in de Big Bang?!



50.000001%

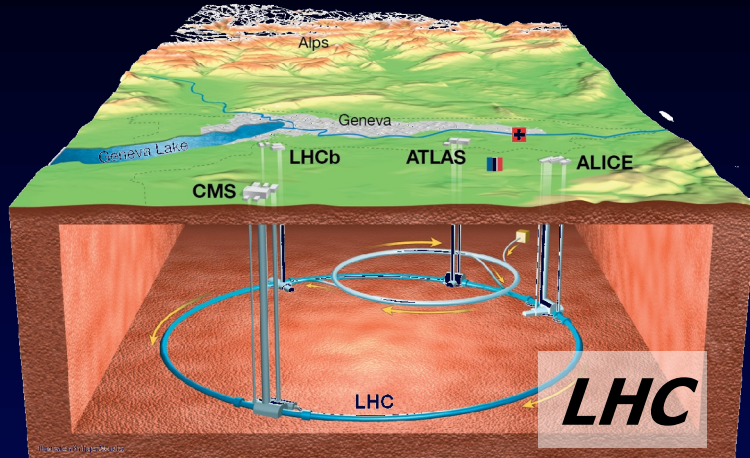


49.999999%

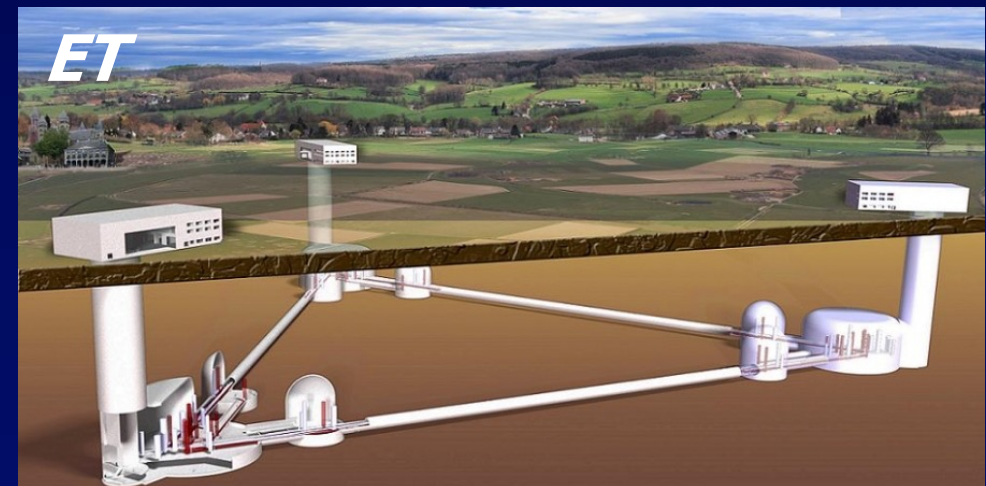
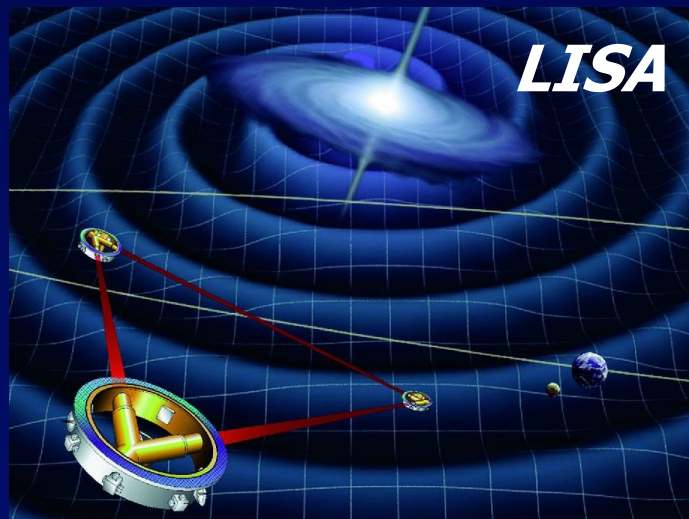


Toekomst: "Cirkels en Driehoeken"

Deeltjesversnellers: fysica van de Big Bang ...

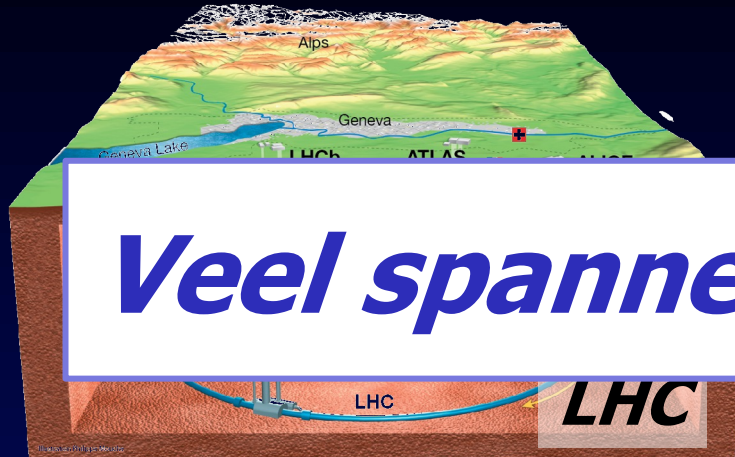


Gravitatie-detectoren: luisteren naar de Big Bang...



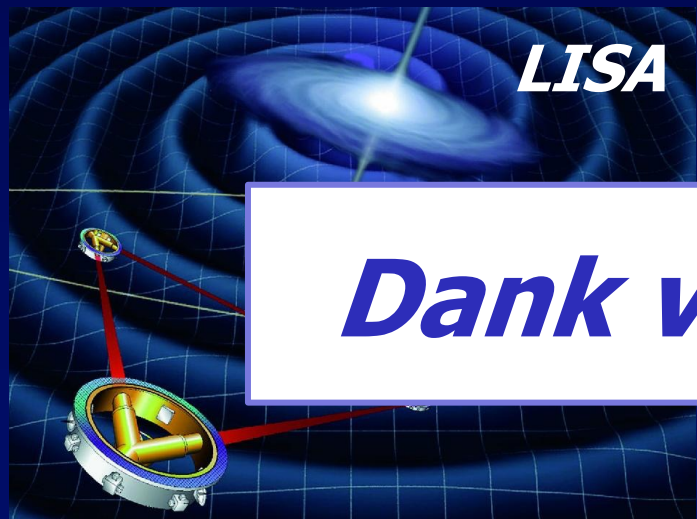
Toekomst: "Cirkels en Driehoeken"

Deeltjesversnellers: fysica van de Big Bang ...



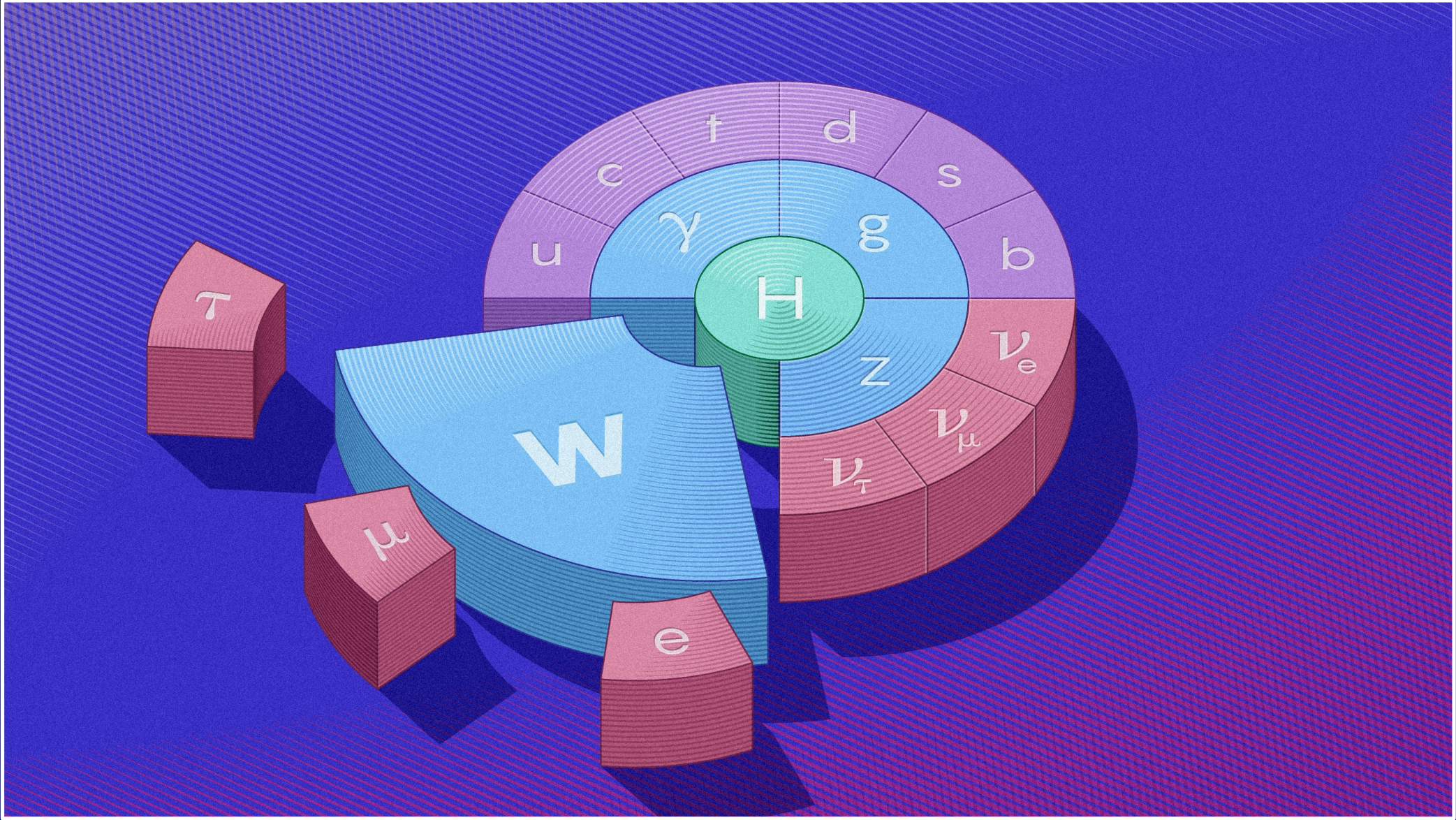
Veel spannend onderzoek onderweg

Gravitatie-detectoren: luisteren naar de Big Bang...

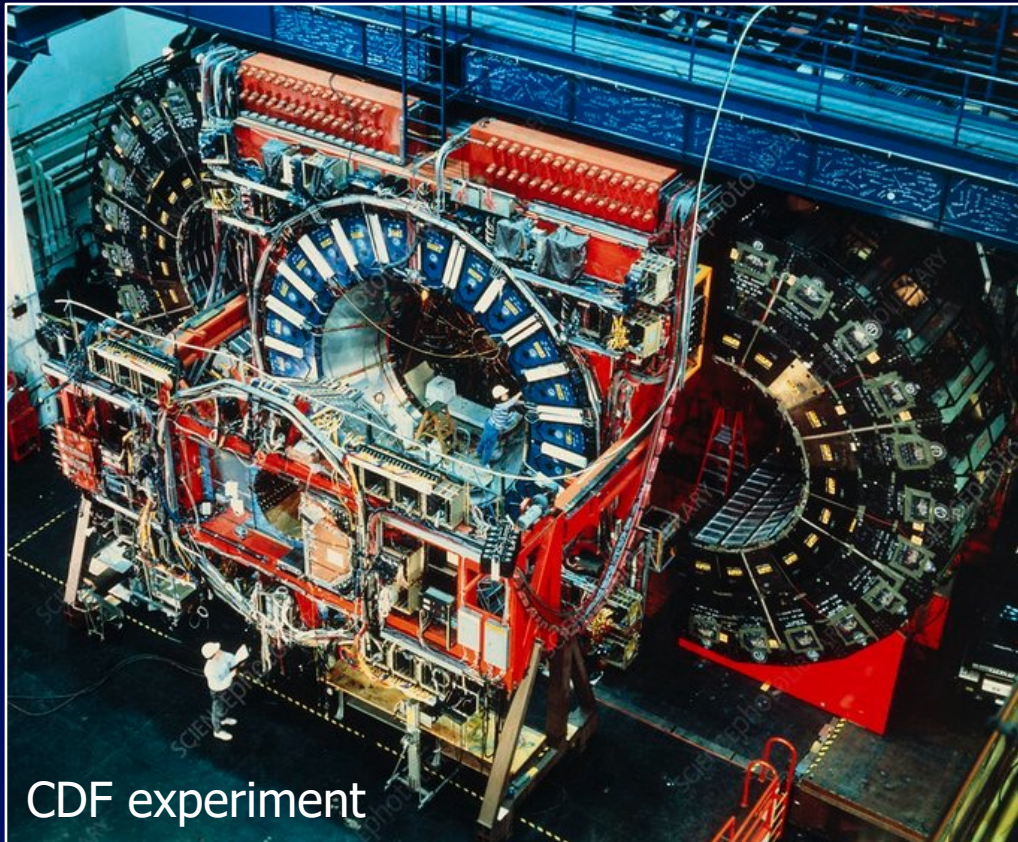
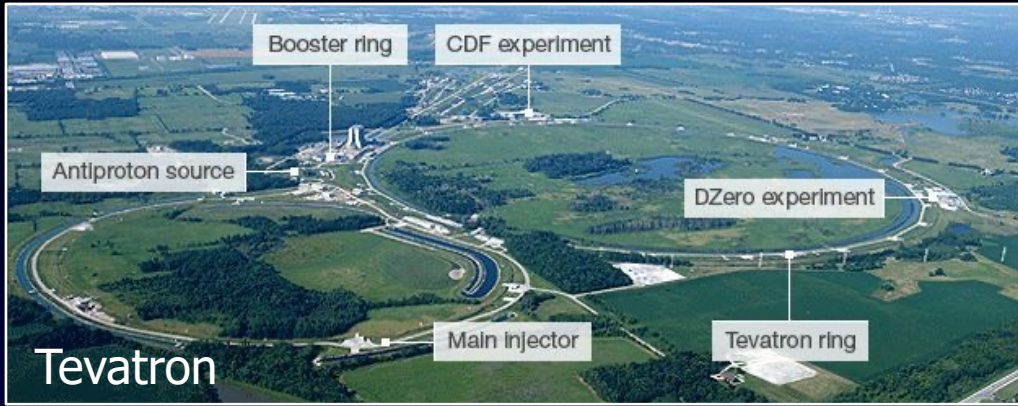


Dank voor uw aandacht!

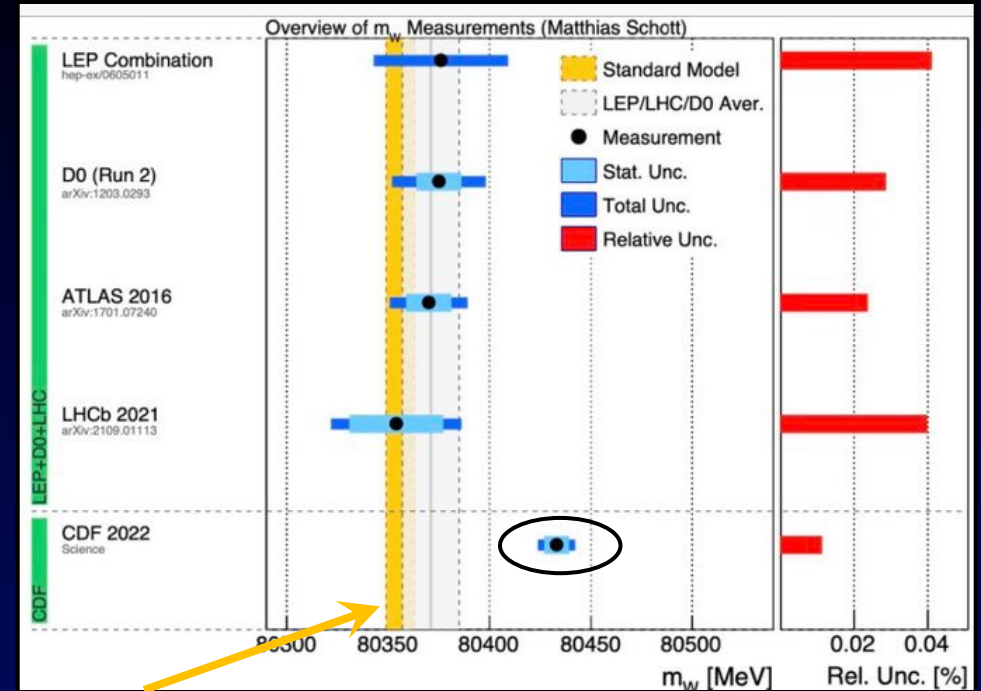
De Fermilab W-boson anomalie (April 7 2022)



De Fermilab W-boson anomalie (April 7 2022)

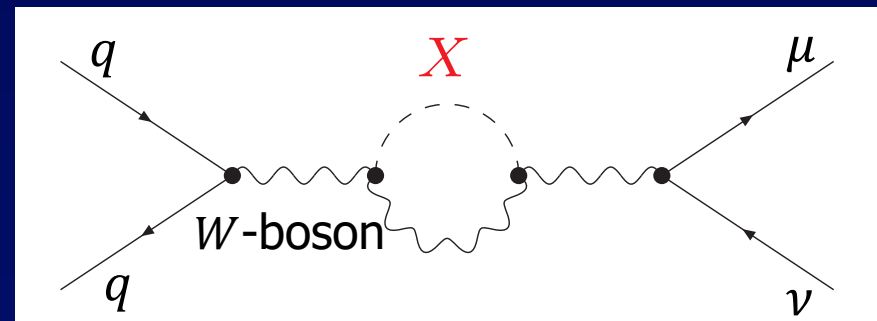


Meting van de massa van het W-boson

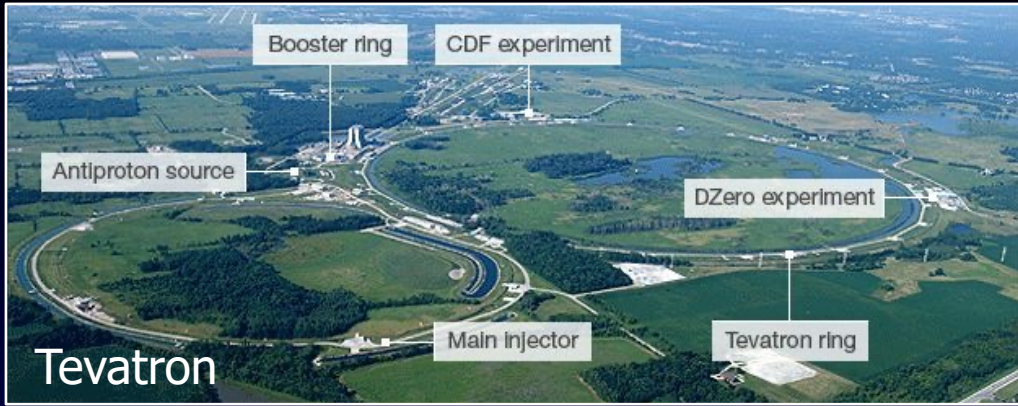


Voorspelling van het Standaardmodel

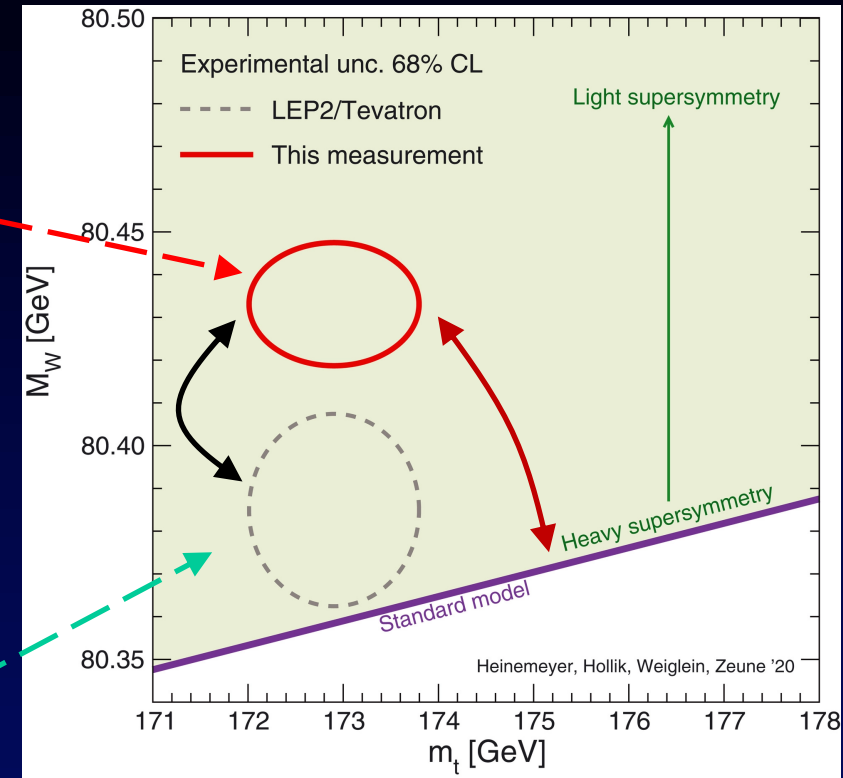
Nieuwe deeltjes "X" in quantum lus proces:



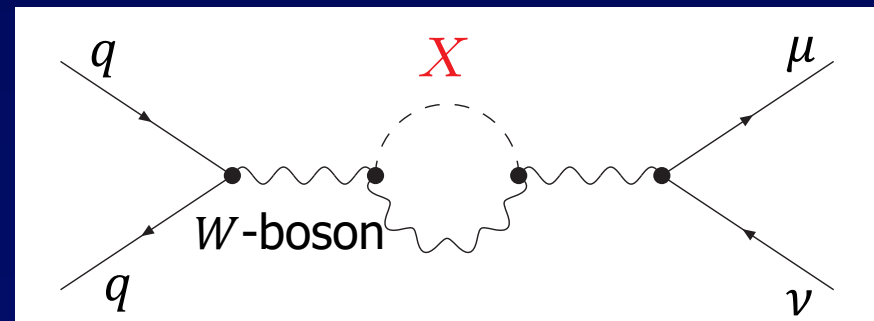
De Fermilab W-boson anomalie (April 7 2022)



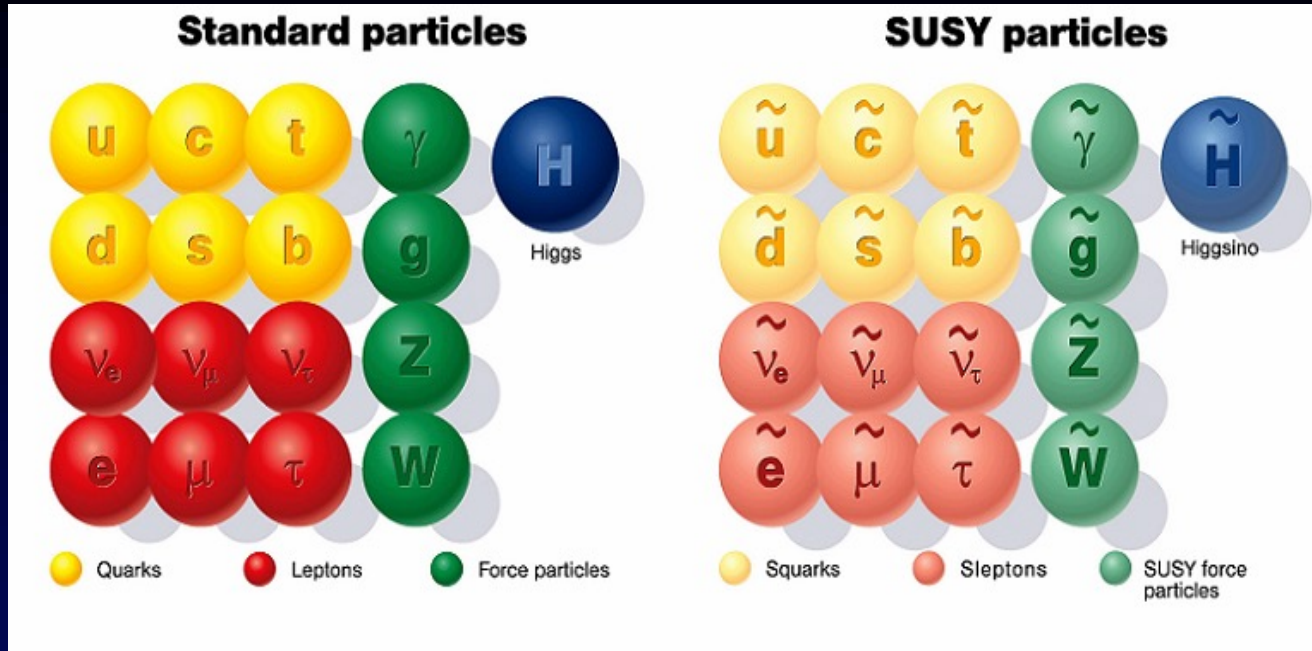
Meting van de massa van het W -boson



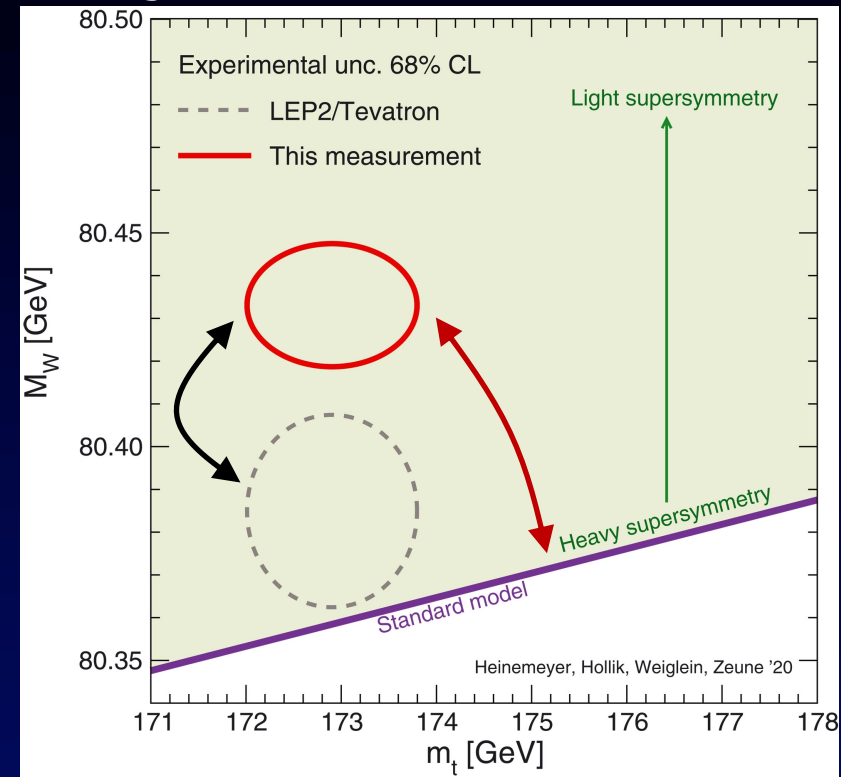
Nieuwe deeltjes "X" in quantum lus proces:



De Fermilab W-boson anomalie (April 7 2022)



Meting van de massa van het W -boson

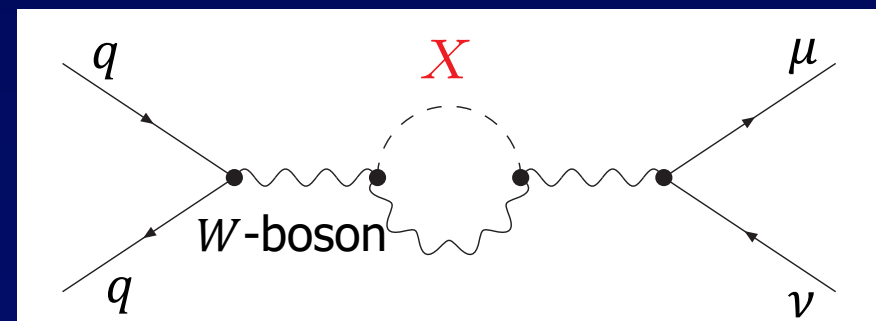


X: Supersymmetrie deeltjes?:

Voor elk gewoon deeltje bestaat er een supersymmetrisch spiegelbeeld deeltje.

Dit kan de Higgs massa en krachten unificatie verklaren

Nieuwe deeltjes "X" in quantum lus proces:



Donkere Materie



Zichtbare "baryonische" materie



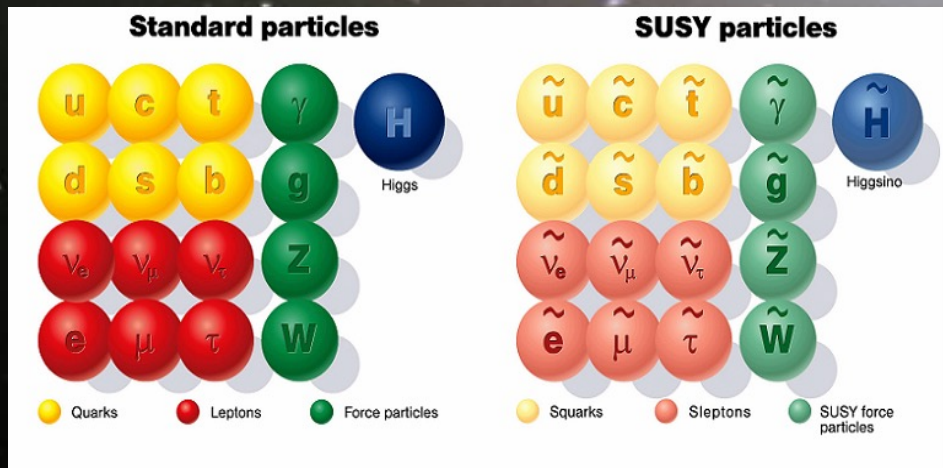
Spiraalarm rotatie en gravitationele lenzen



Donkere Materie

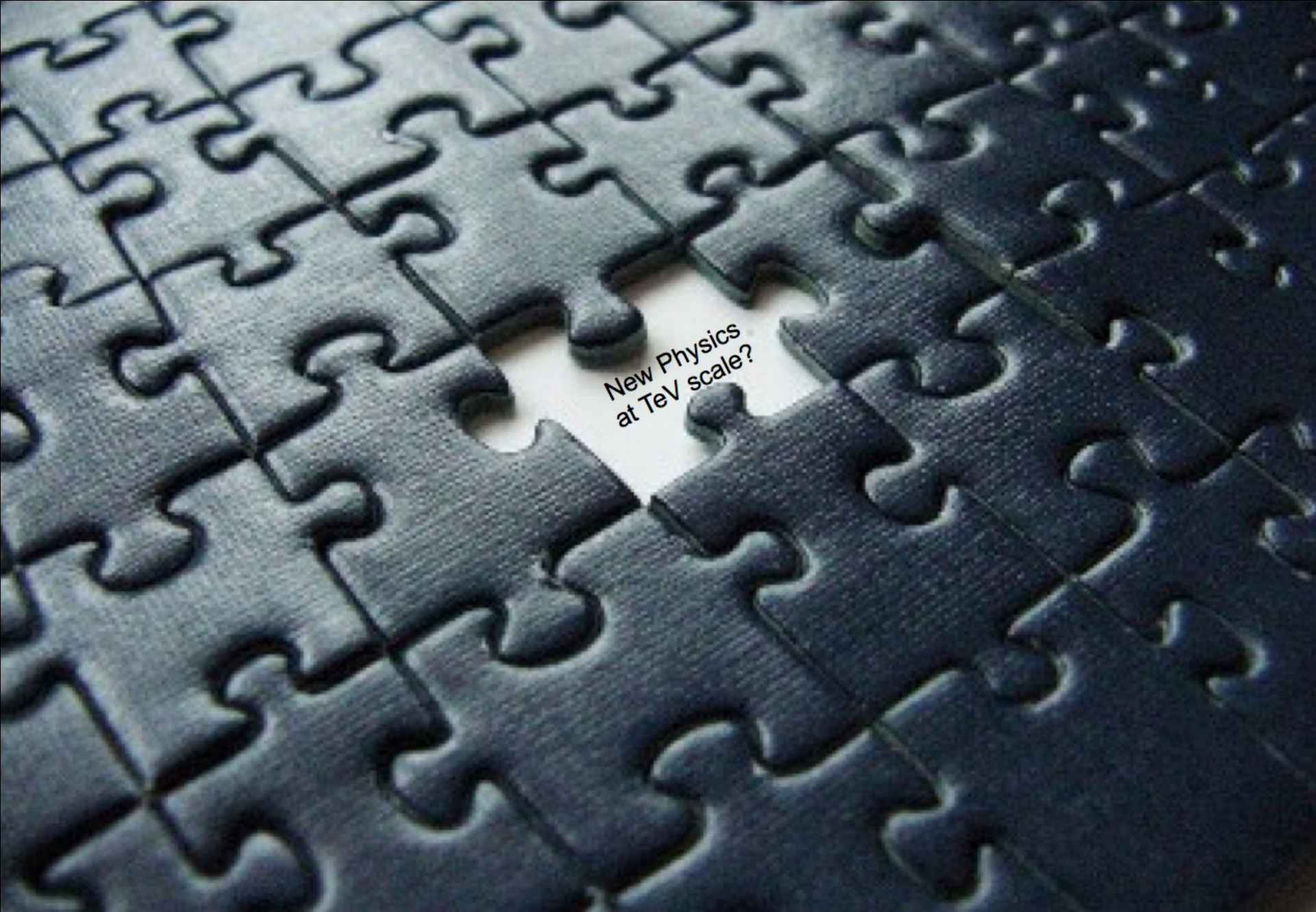
He H

donkere energie & donkere materie





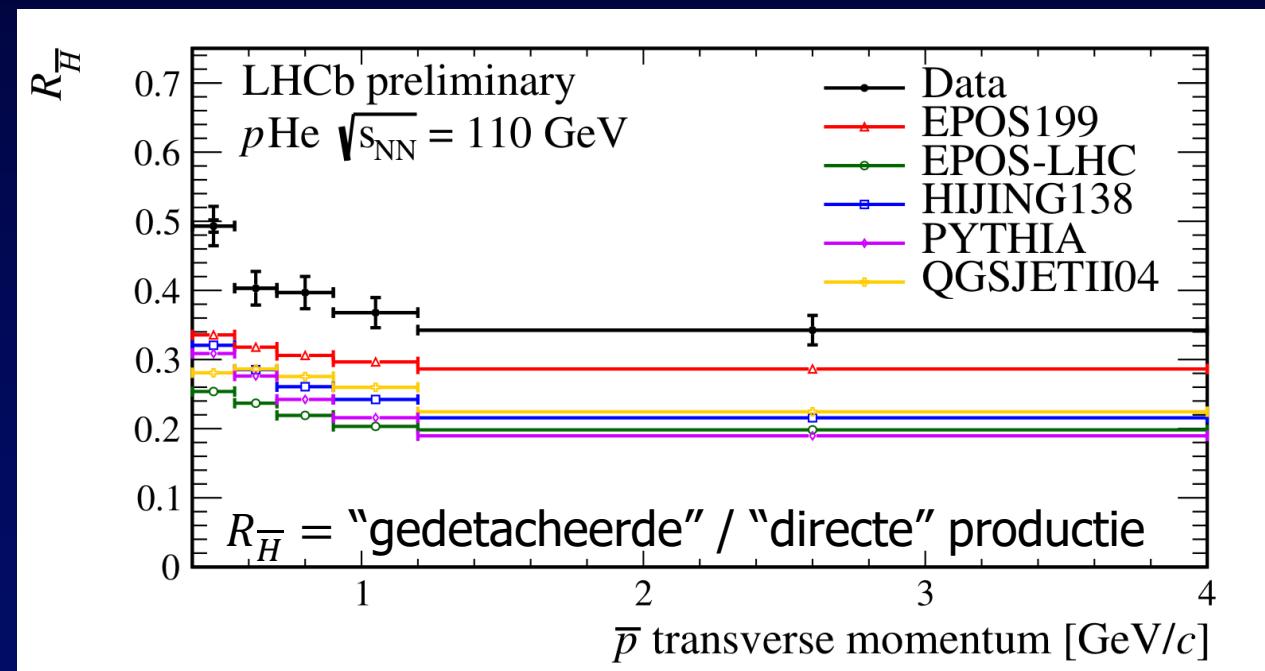
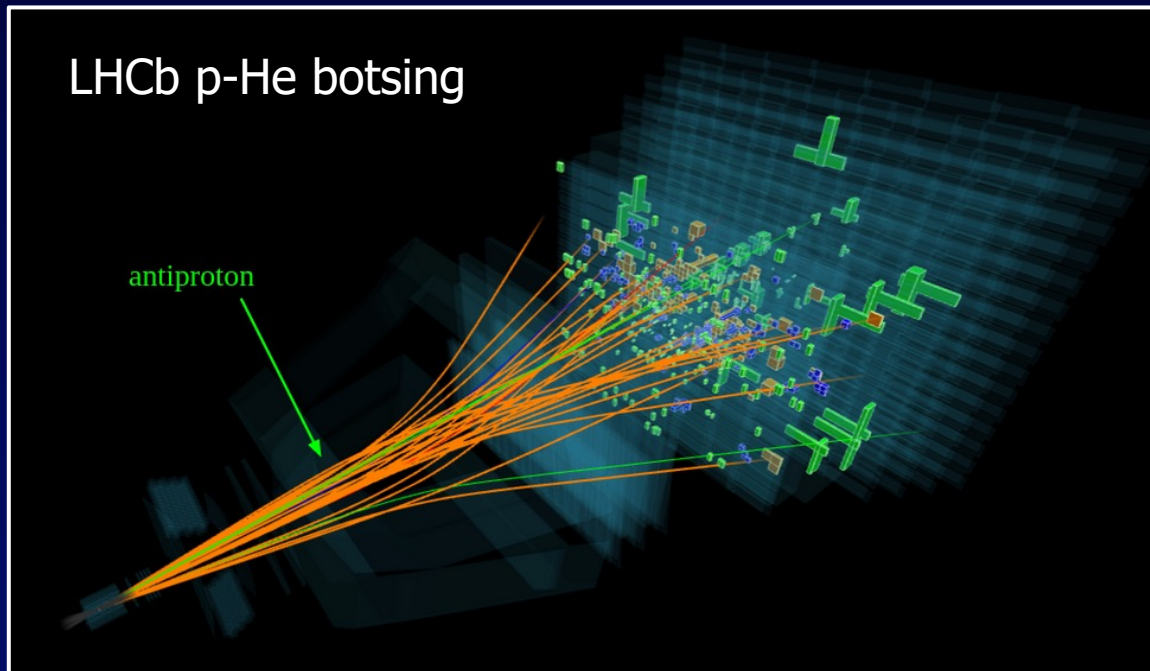
“The Dark Side rules the Universe”



New Physics
at TeV scale?

Antiproton productie (7 April, 2022)

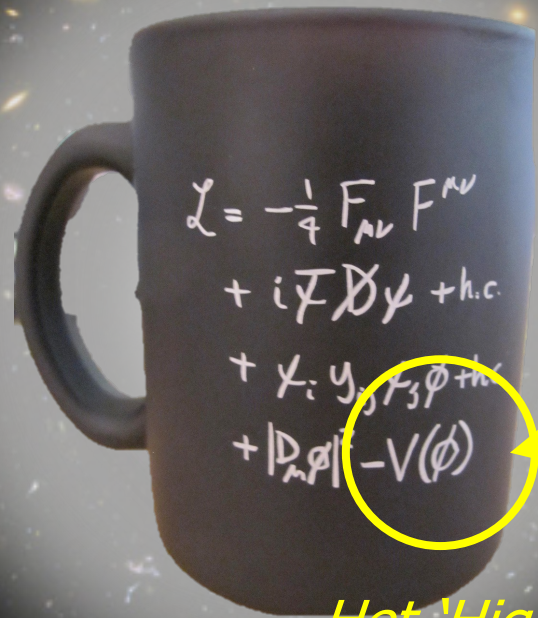
- AMS en Pamela experimenten meten antimaterie in de ruimte
- Antimaterie wordt ook gemaakt bij botsingen van protonen met gewone materie deeltjes (bv He)
 - De "gewone" antiproton (\bar{H}) productie is gemeten bij LHCb



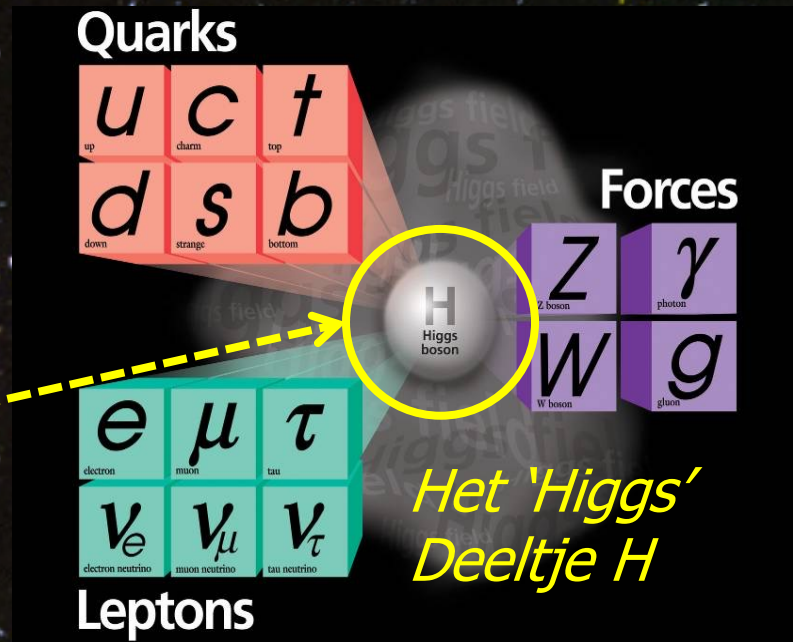
Het Standaard Model

"De formules"

"De bouwstenen van de natuur"



Het 'Higgs' Veld ϕ



Higgs Veld ϕ en Deeltje H

- Higgs veld ϕ is uniform, moeilijk waar te nemen.
- Higgs-boson deeltje H is "quantum-golf" van het veld.
- Massa ontstaat door interactie van materie deeltjes met het Higgs veld.

- Vergelijk:
 - Een foton is een kwantum van elektromagnetisch veld
 - Watergolf

ϕ

Higgs veld



H

Higgs deeltje
een "veld-kwantum"



Het Vacuum

