

Higgs en het mysterie van de ontbrekende antimaterie



Big Bang

Inflation

Expansion



Deel I:

- Bouwstenen van materie: "3"
- Antimaterie en de Oerknal
- Het Standaardmodel van deeltjes en krachten

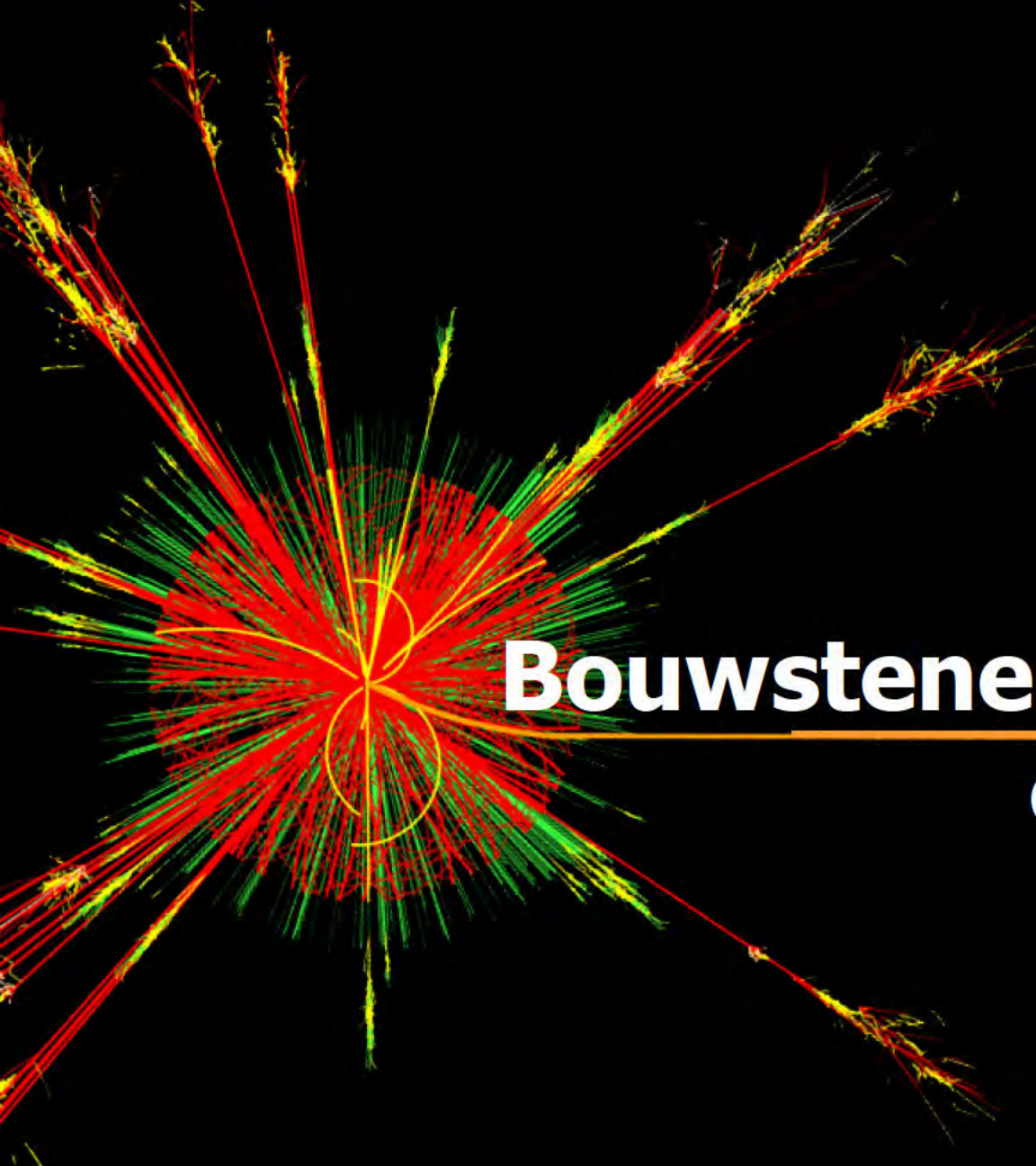
Deel II:

- De LHC en de ontdekking van het Higgs deeltje
- Verdwenen antimaterie en de Higgs connectie: "3"
- Open vragen: speuren naar nieuwe deeltjes en krachten

KUN → Radboud University

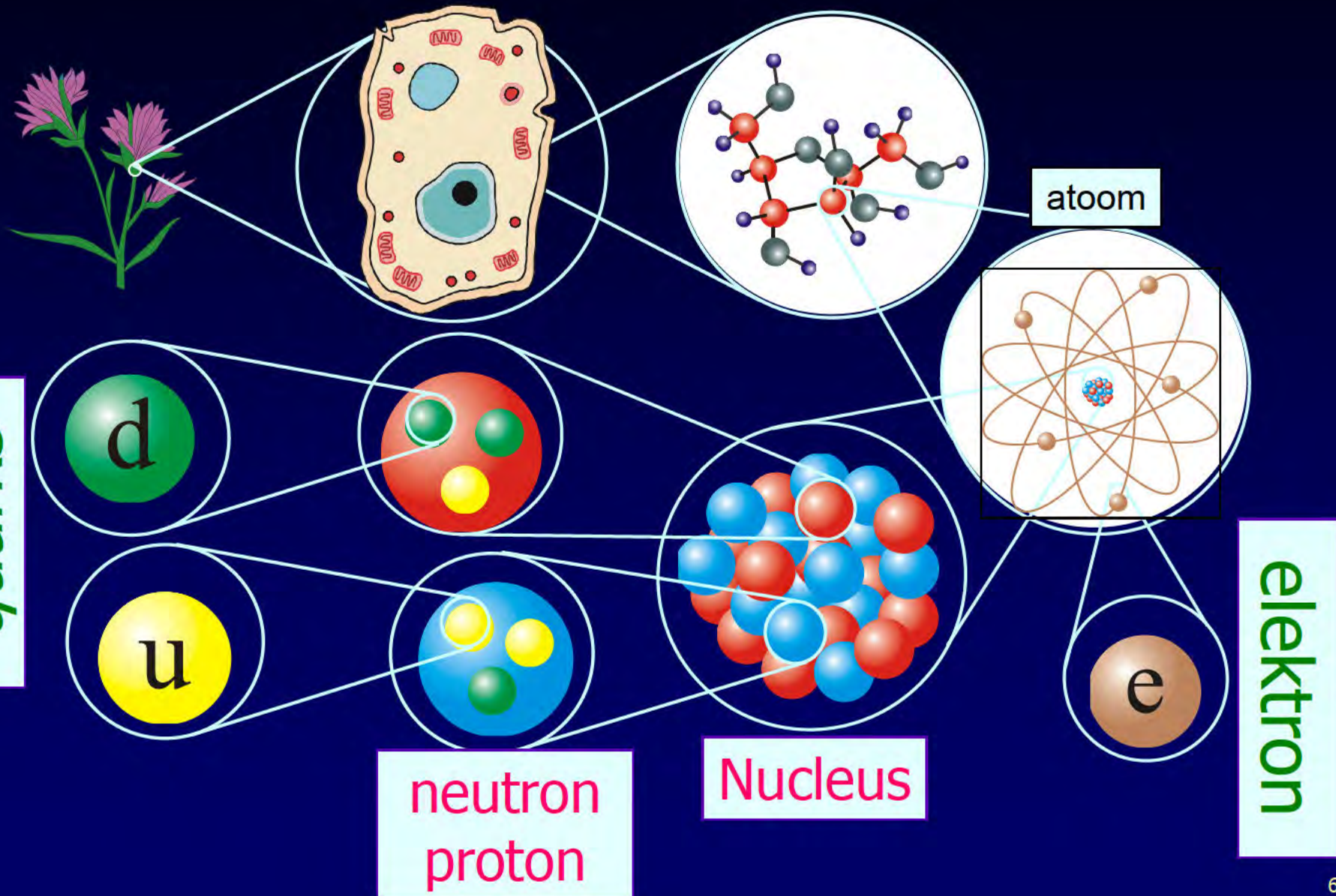




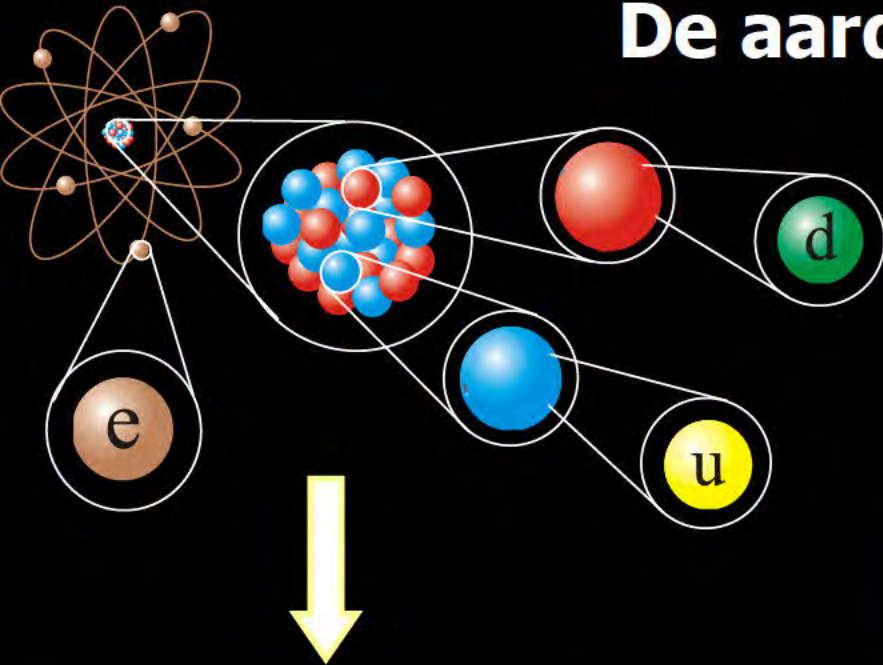


Bouwstenen van Materie en het getal 3

Bouwstenen van materie



De aardse materie

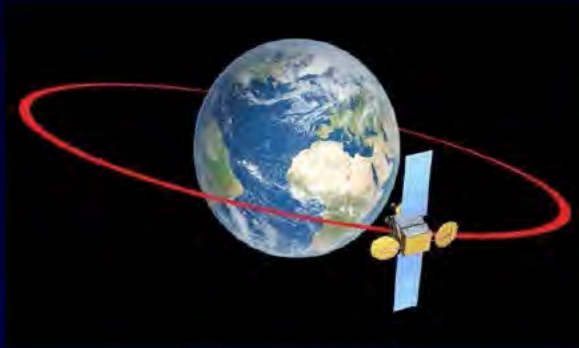


periodiek systeem
Van Mendeleev

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	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																		

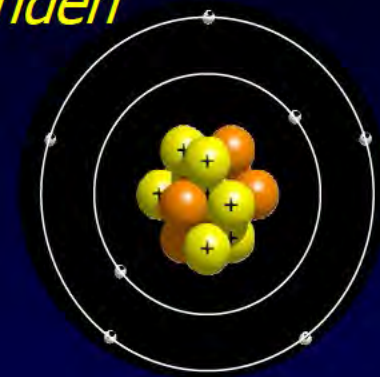
58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr

Hoe gedraagt de natuur zich onder extreme omstandigheden?



'Klassiek'
Kepler (1609)

Kleinere afstanden



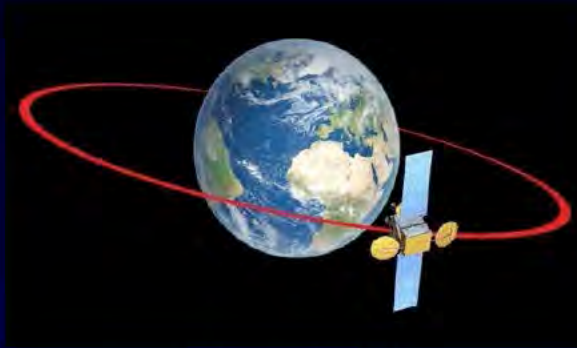
Kwantummechanika
(Bohr 1930)

Hogere energie



'Speciale relativiteitstheorie'
(Einstein 1910)

Hoe gedraagt de natuur zich onder extreme omstandigheden?



'Klassiek'
Kepler (1609)

Kleinere afstanden

Begrip van kwantummechanica
essentieel voor alle moderne electronica
(alles met een transistor of chip)

Kwa
ka



Energie

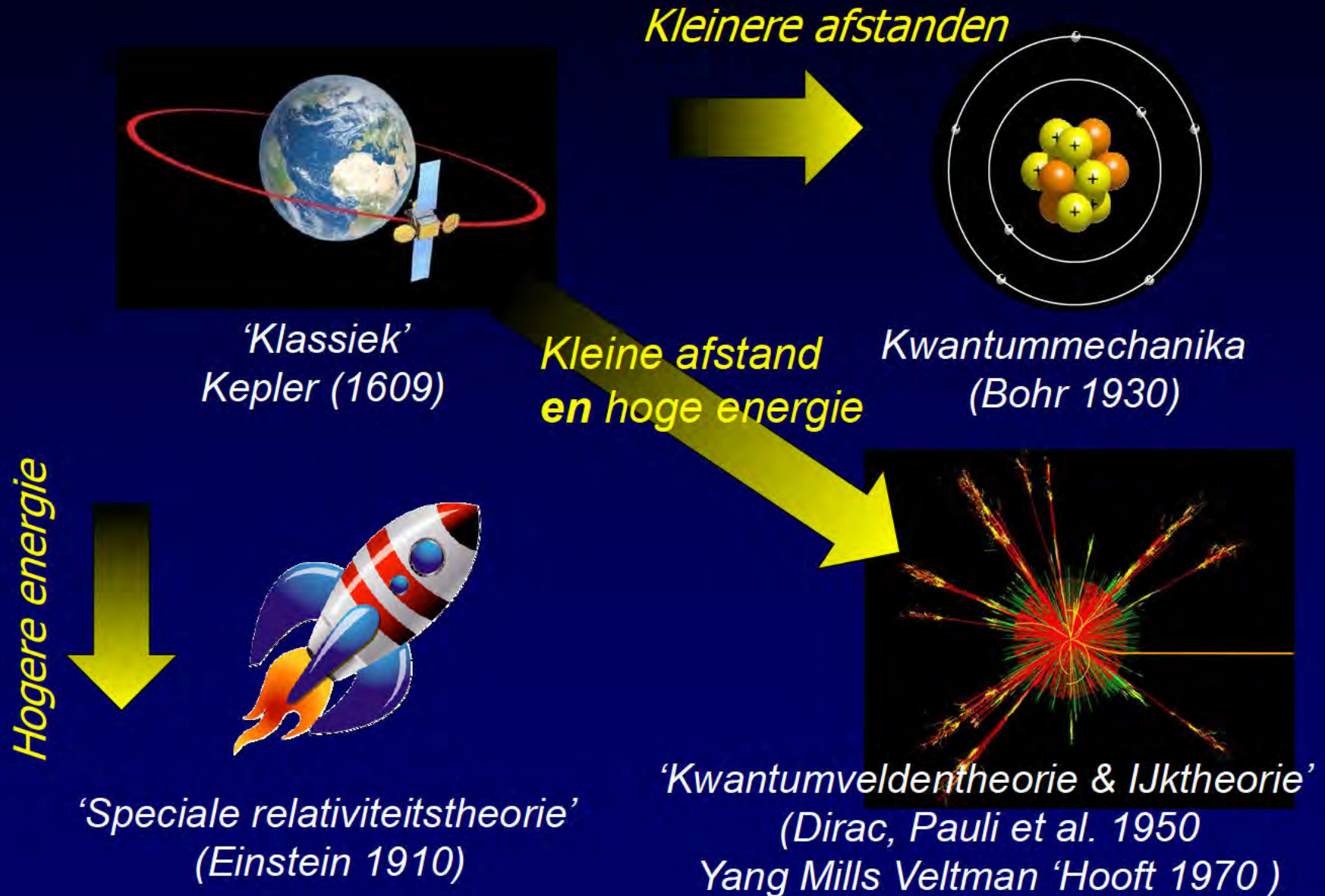
Begrip van relativiteitstheorie
essentieel voor navigatie met GPS
(afwijkingen tot 10km zonder RT)

'Spec



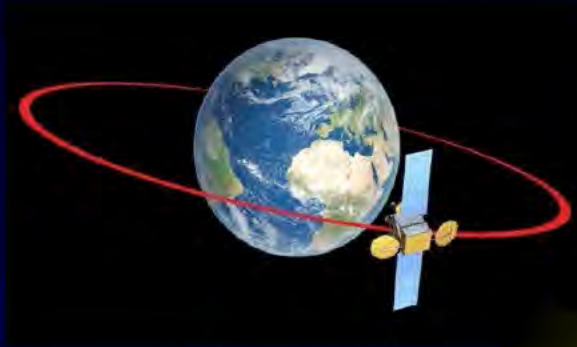
'rie'

Hoe gedraagt de natuur zich onder extreme omstandigheden?

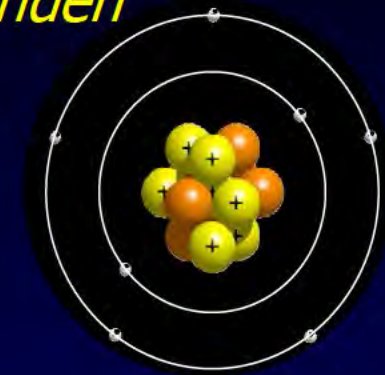


Hoe gedraagt de natuur zich onder extreme omstandigheden?

Kleinere afstanden



'Klassiek'
Kepler (1609)



Kwantummechanika
(Bohr 1930)

*Kleine afstand
en hoge energie*

Hogere energie

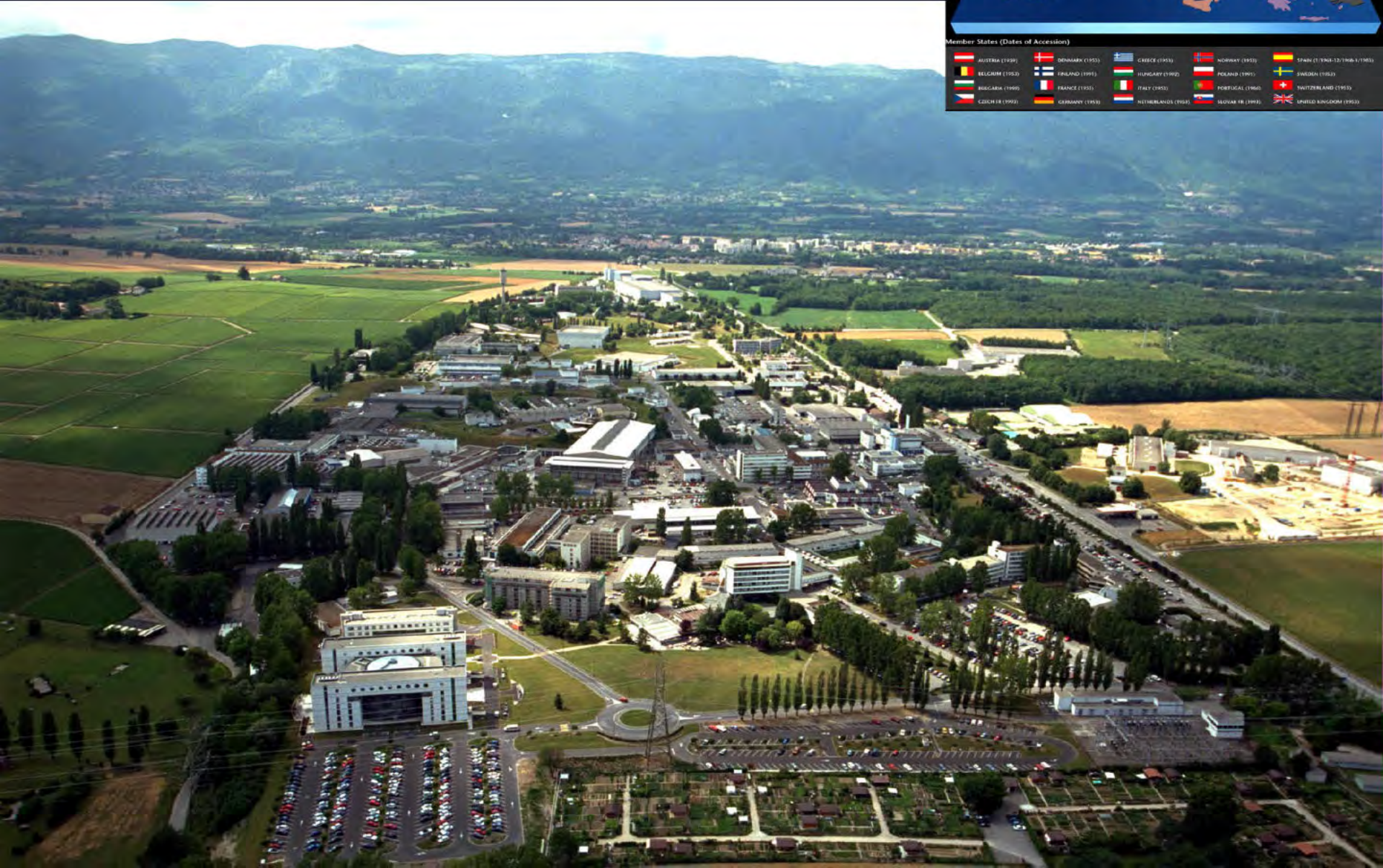


'Speciale relativiteitstheorie'
(Einstein 1910)

Bestaan van anti-materie
Kracht = uitwisseling
boodschapperdeeltjes
Conversie van energie in
materie en v.v.

'Kwantumveldentheorie & IJktheorie'
(Dirac, Pauli et al. 1950
Yang Mills Veltman 'Hooft 1970)

CERN: *het laboratorium*



CERN: *de LEP versneller*

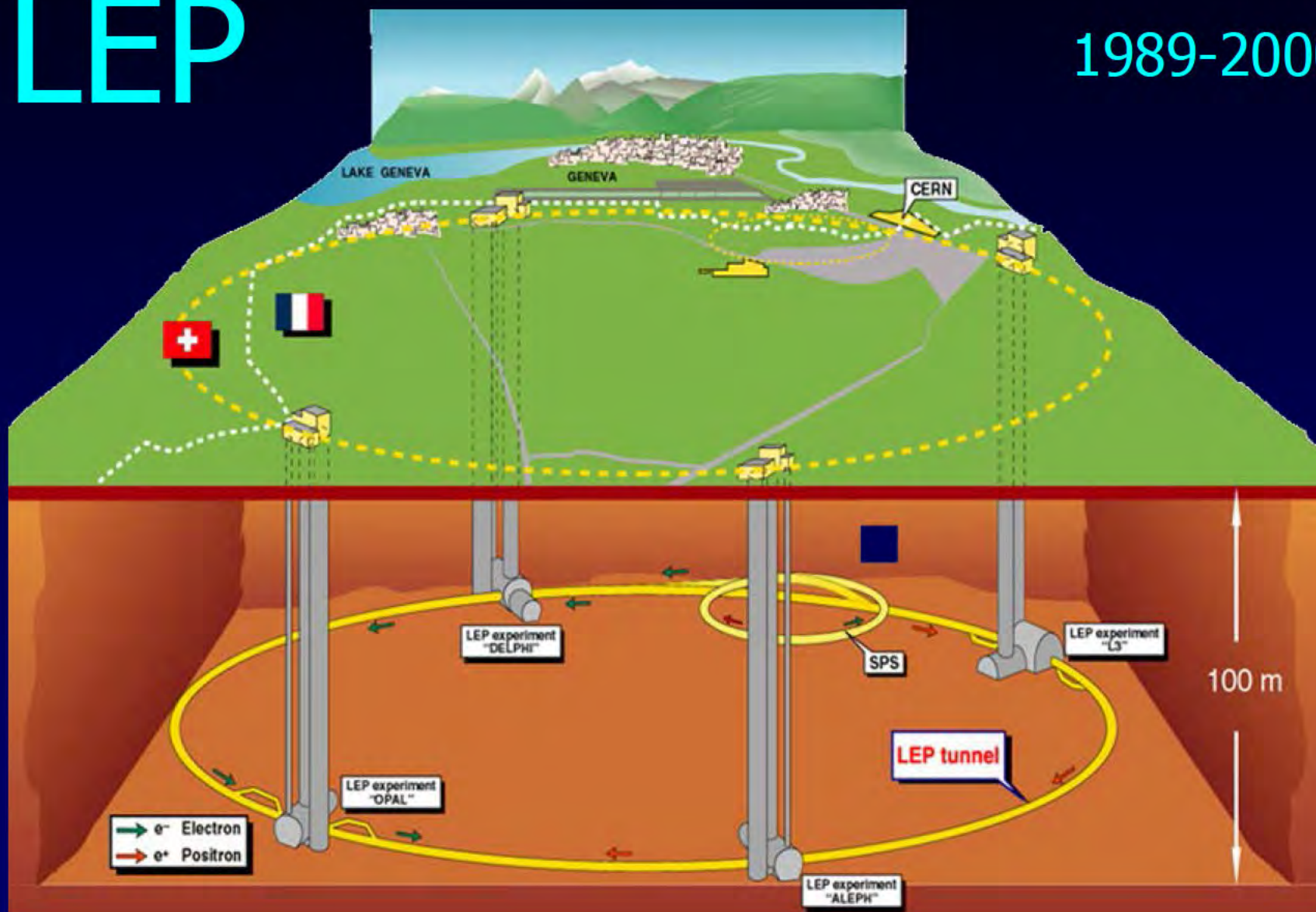
Tunnel van 27 km, 100 m diep



Large Electron Positron versneller

LEP

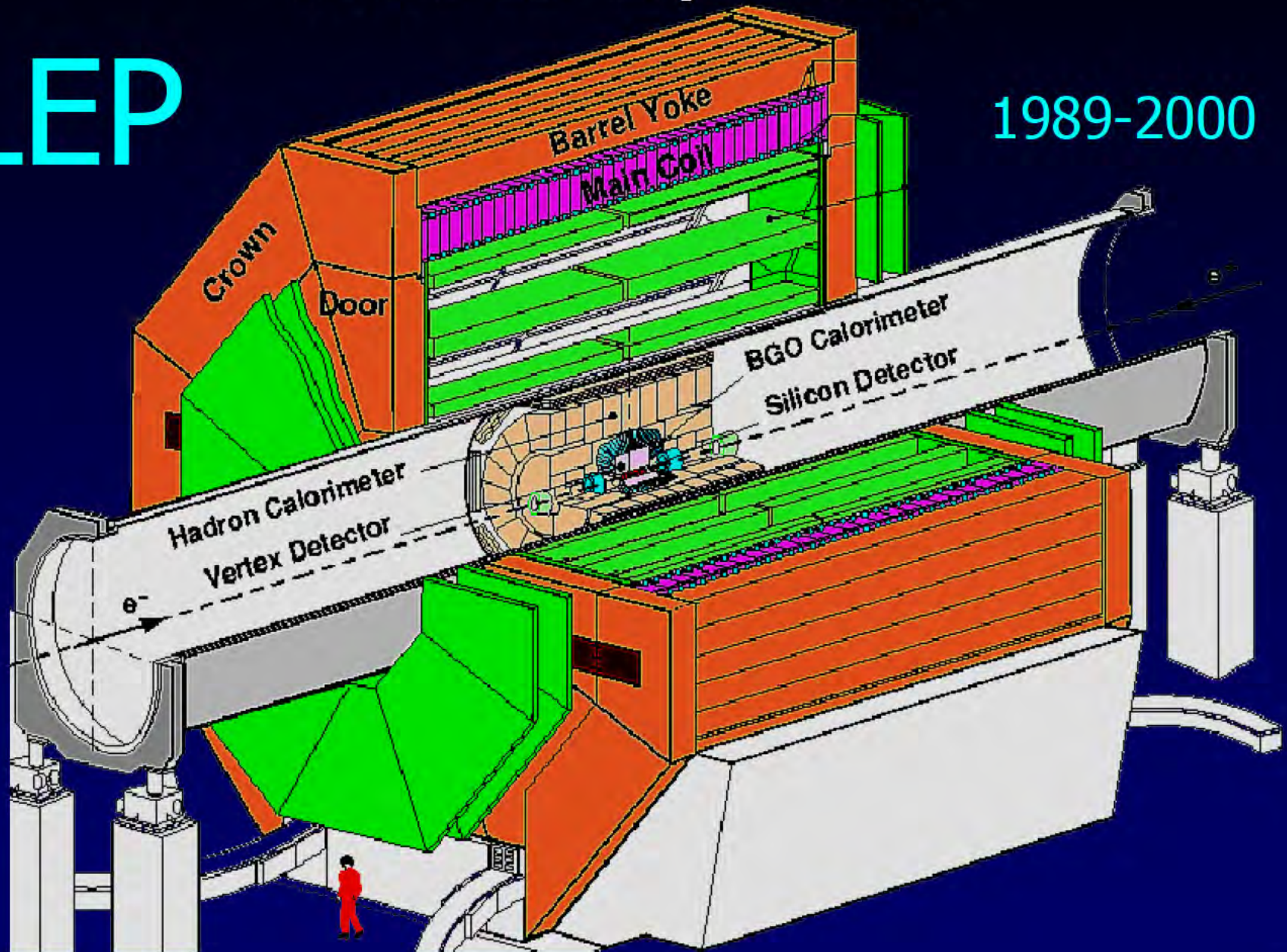
1989-2000



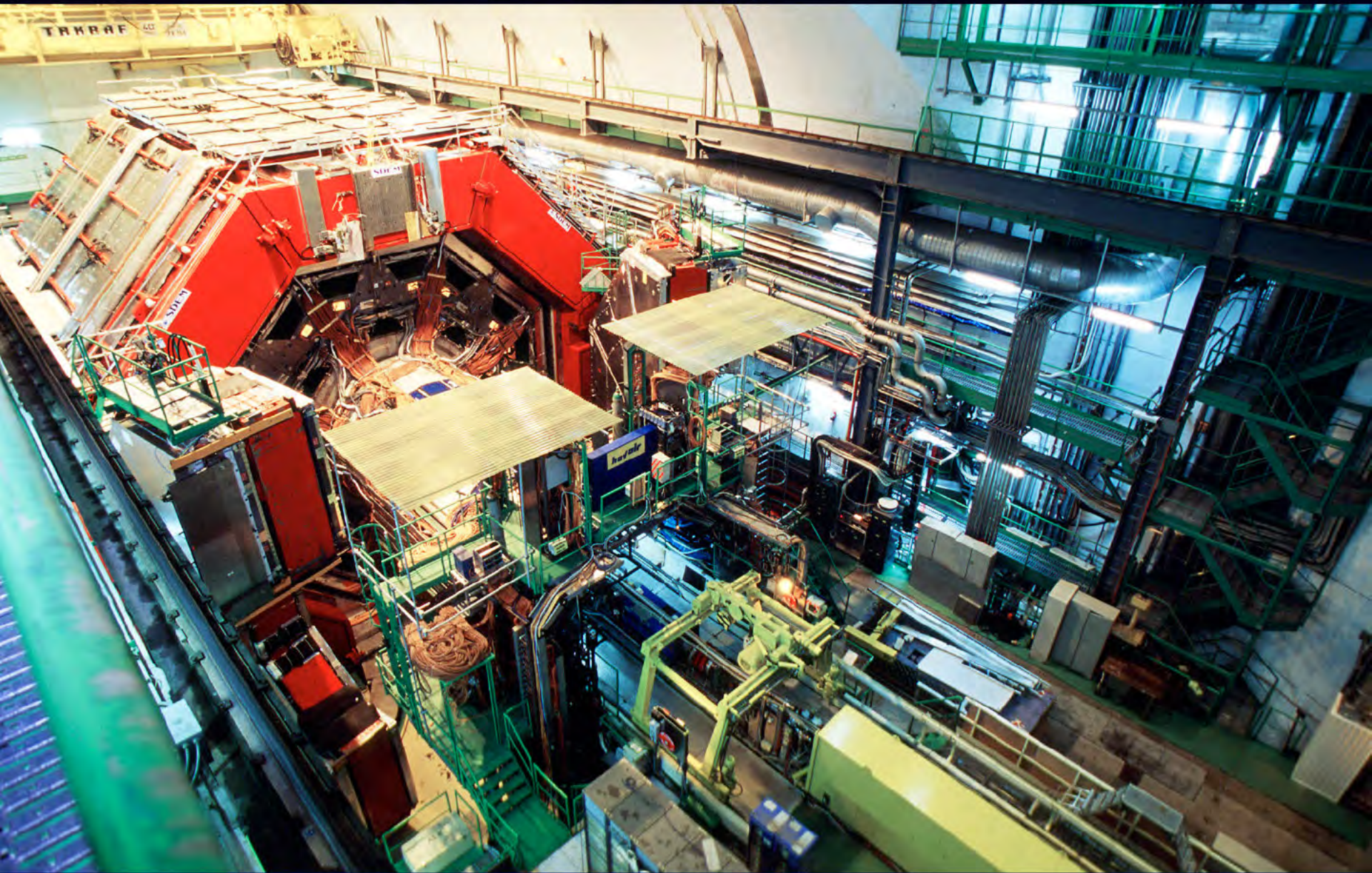
Het L3 LEP Experiment

LEP

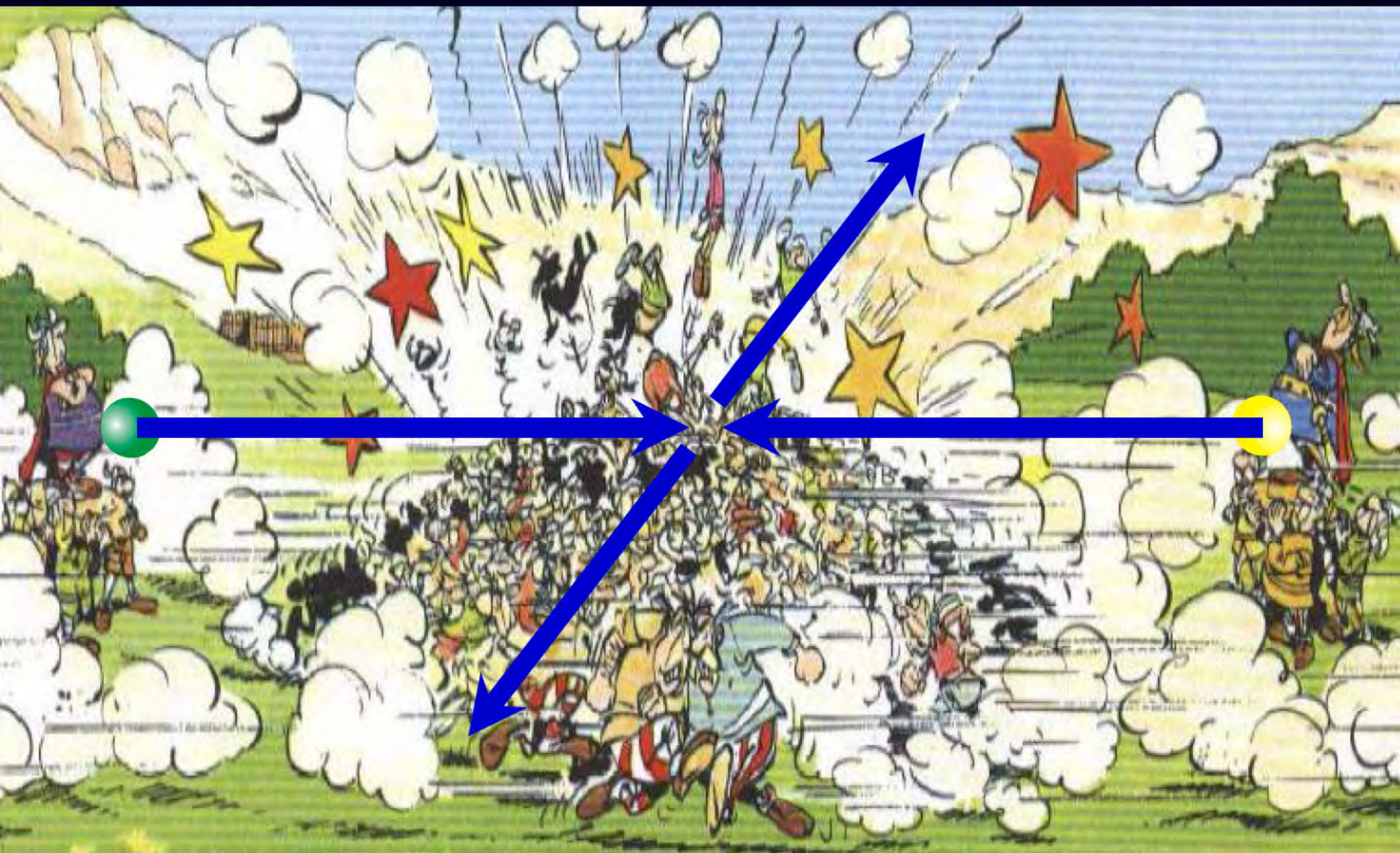
1989-2000



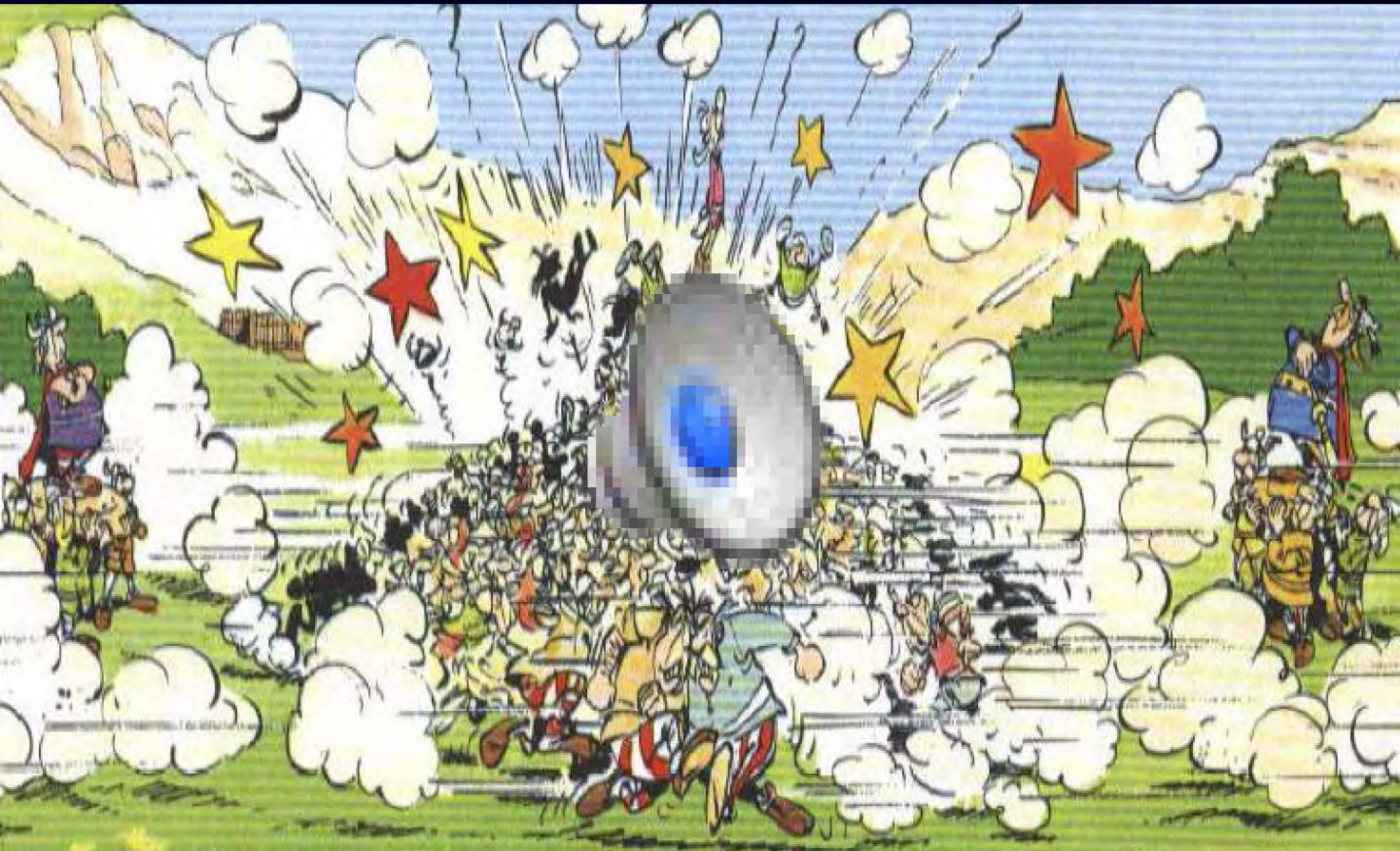
Het L3 LEP Experiment



Alle mogelijke materie ontstaat



Alle mogelijke materie ontstaat

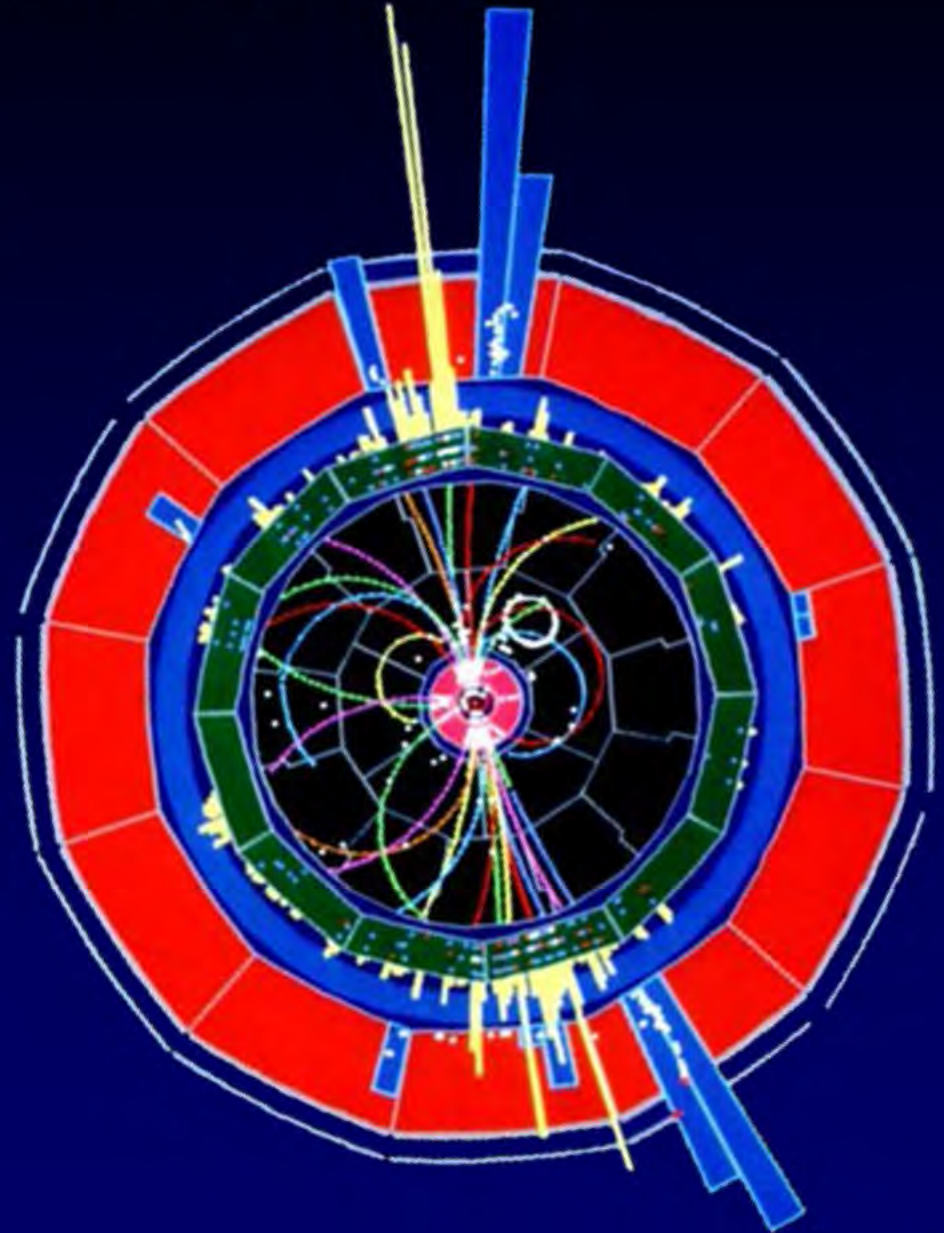


De Elementaire Deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c (1976)	t (1995)	+2/3 e
	d	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

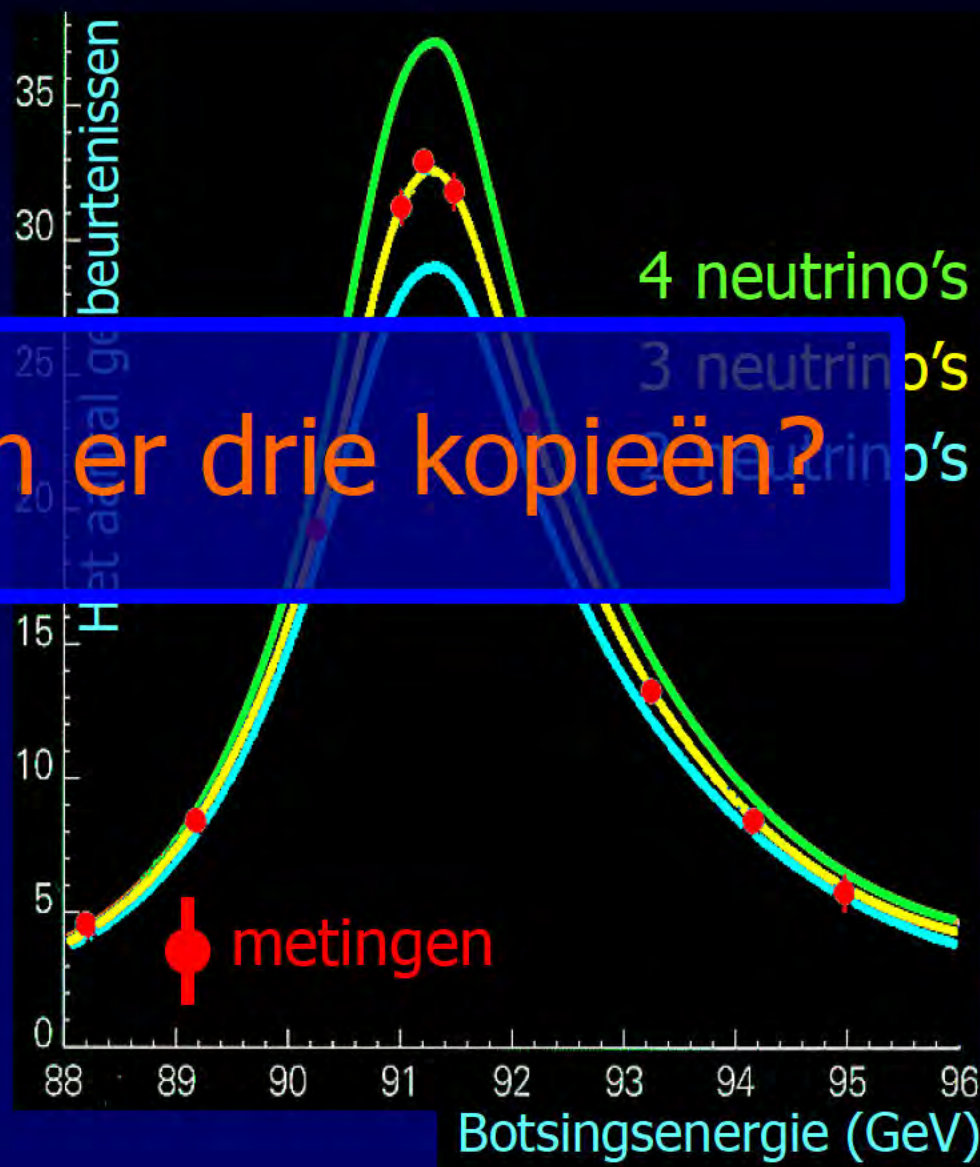


CERN 1993: Er zijn precies 3 generaties!

Generatie:

	I	II	III	Lading
quarks	u	c (1976)	t (1995)	+2/3 e
	d	s (1977)	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



4 neutrino's
3 neutrino's
2 neutrino's

Waarom bestaan er drie kopieën?

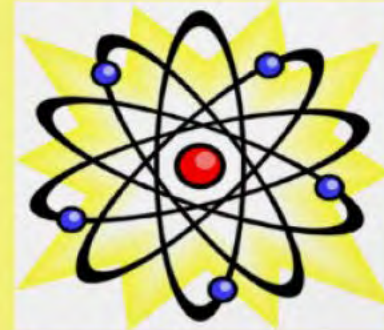
Is dit alles wat er is?

Generatie:

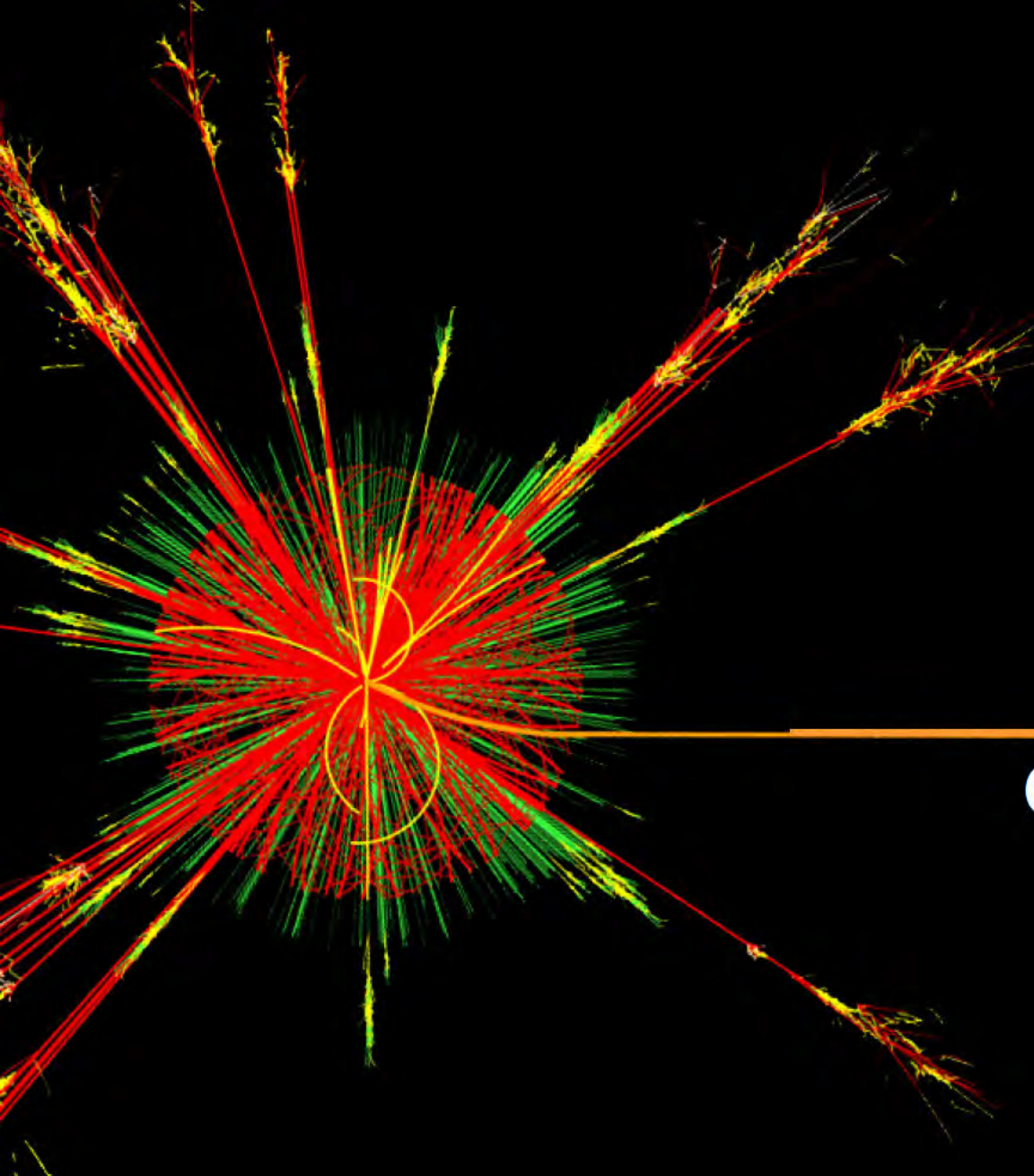
	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u ~3	c 1200	t 176300	+2/3 e
	d ~7	s 120	b 4300	-1/3 e
leptons	e 0.511	μ 106	τ 1777	-1 e
	ν_e ~0	ν_μ ~0	ν_τ ~0	0 e

Materie

IF IT DOESN'T MATTER
DOES IT
ANTI-MATTER?



$$1 \text{ MeV} = 1.8 \times 10^{-30} \text{ -kg}$$



Antimaterie en de Oerknal

Fysica van elementaire deeltjes

- Revoluties begin vorige eeuw:
 - Relativiteitstheorie
 - Quantum Mechanica
- Paul Dirac: relativistische quantum theorie!



Dirac

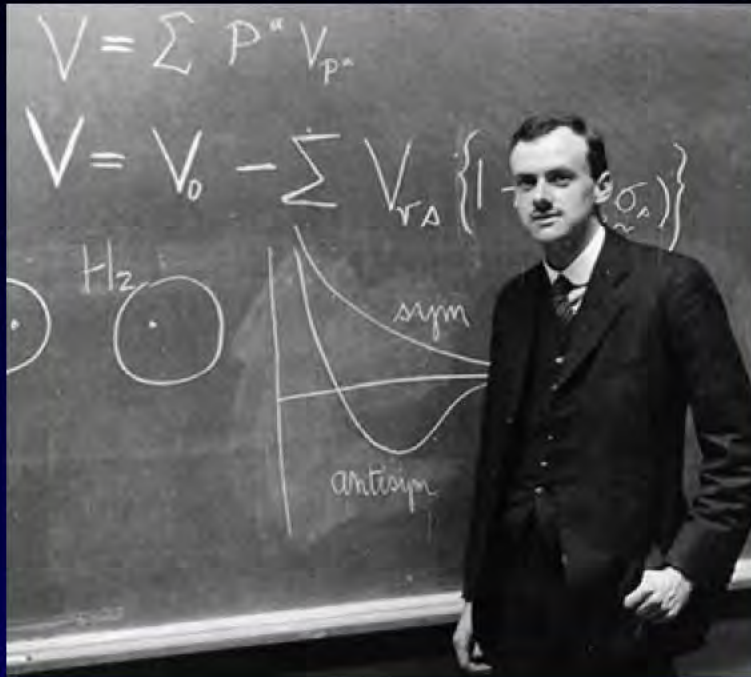
AntiDirac



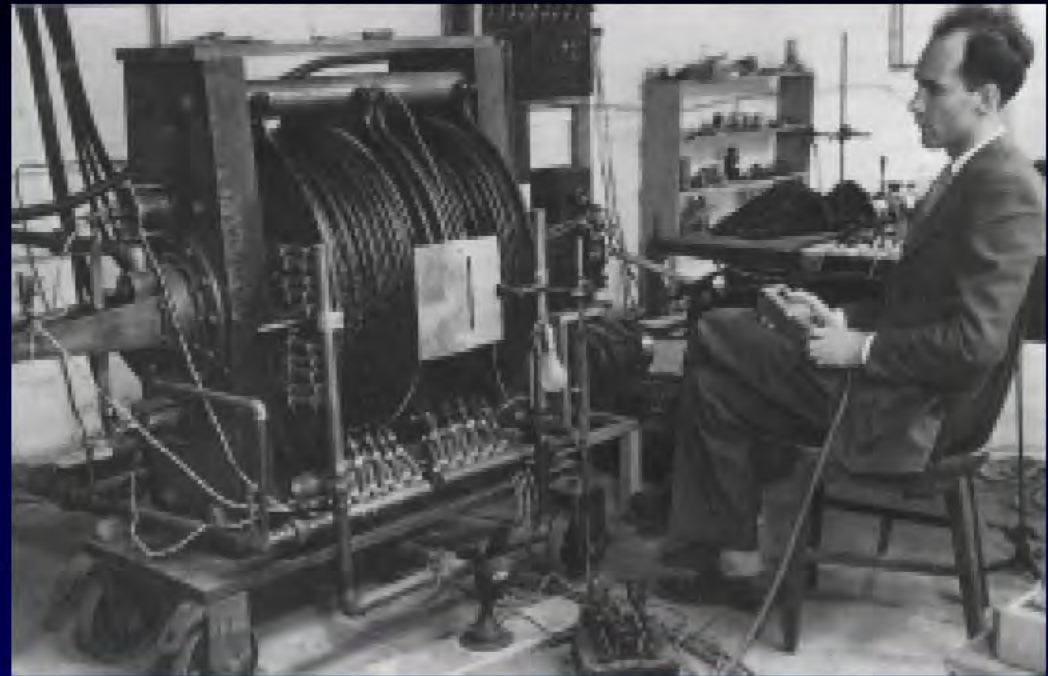
(Westminster abbey)

Voorspelling Dirac 1928:
Voor elk materie deeltje
bestaat een antimaterie
deeltje!

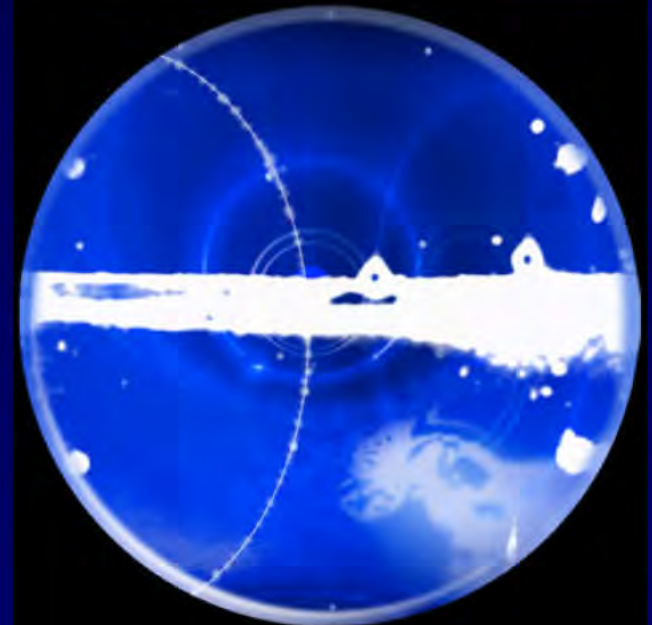
1928: Dirac voorspelt anti-deeltjes



1932: Anderson ontdekt anti-elektron



- Anderson zag een elektron met "verkeerde" lading: e^+
- Registratie in een nevelvat



De elementaire deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c	t	$+2/3 e$
	d	s	b	$-1/3 e$
leptons	e	μ	τ	$-1 e$
	ν_e	ν_μ	ν_τ	$0 e$

Materie

De elementaire deeltjes

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c	t	$+2/3 e$
	d	s	b	$-1/3 e$
leptons	e	μ	τ	$-1 e$
	ν_e	ν_μ	ν_τ	$0 e$

Materie

<u>Lading</u>	I	II	III
$-2/3 e$	\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
$+1/3 e$	\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}
$+1 e$	\bar{e}	$\bar{\mu}$	$\bar{\tau}$
$0 e$	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$

Anti-materie

materie



positron

electron

e

quarks

u

up

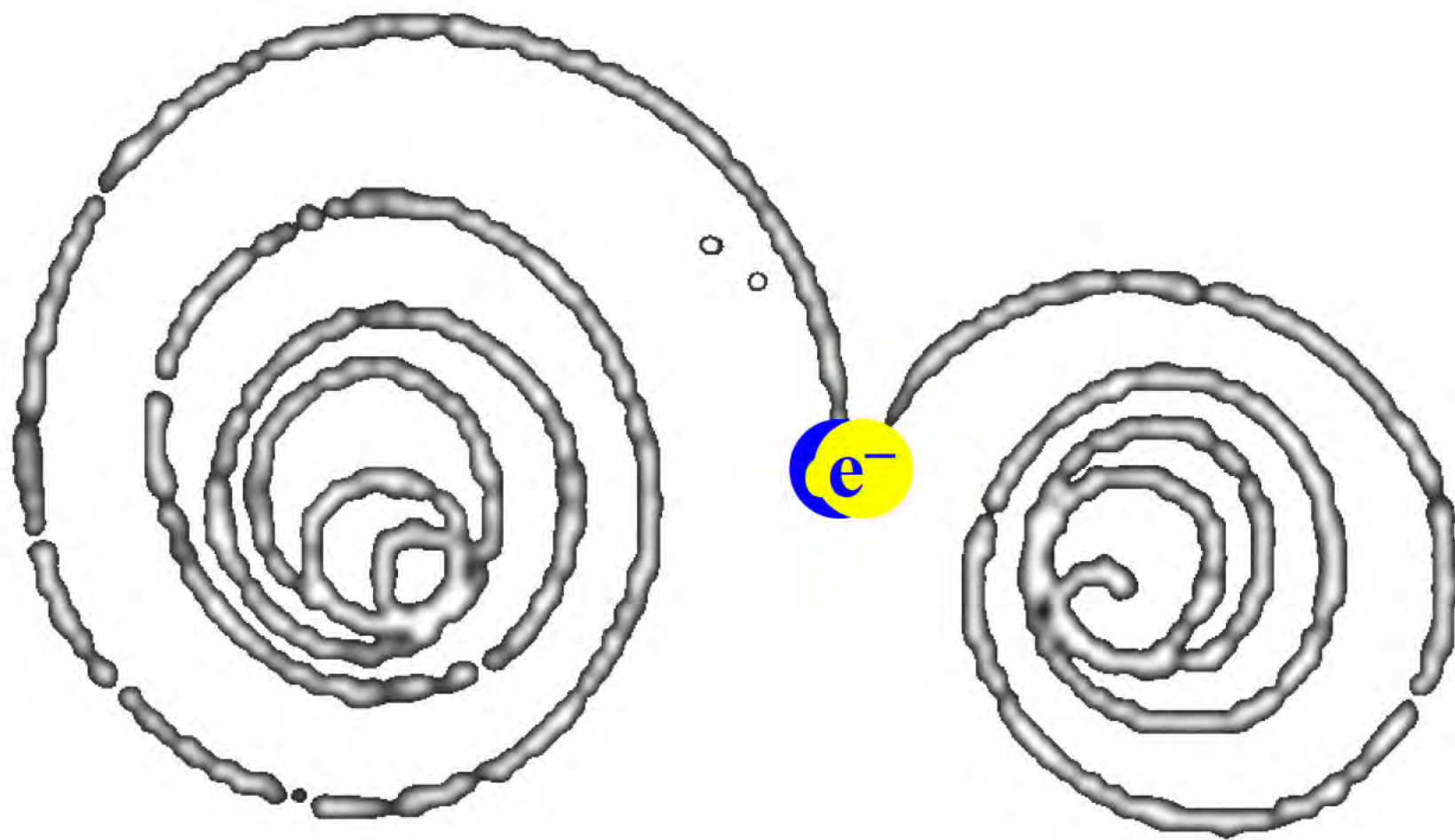
d

down

*Energie =
Materie + Antimaterie*

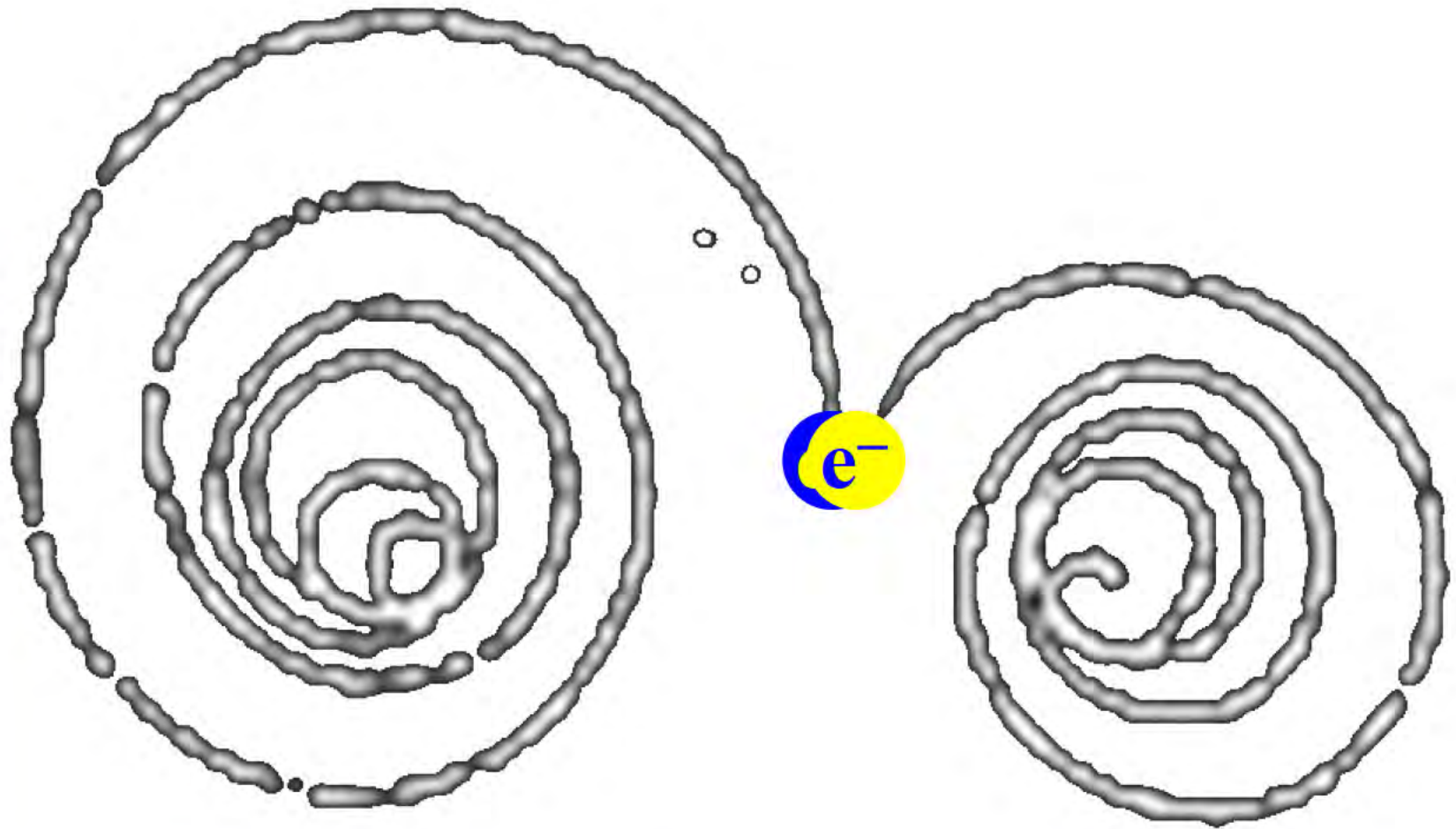
$$E=mc^2$$

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



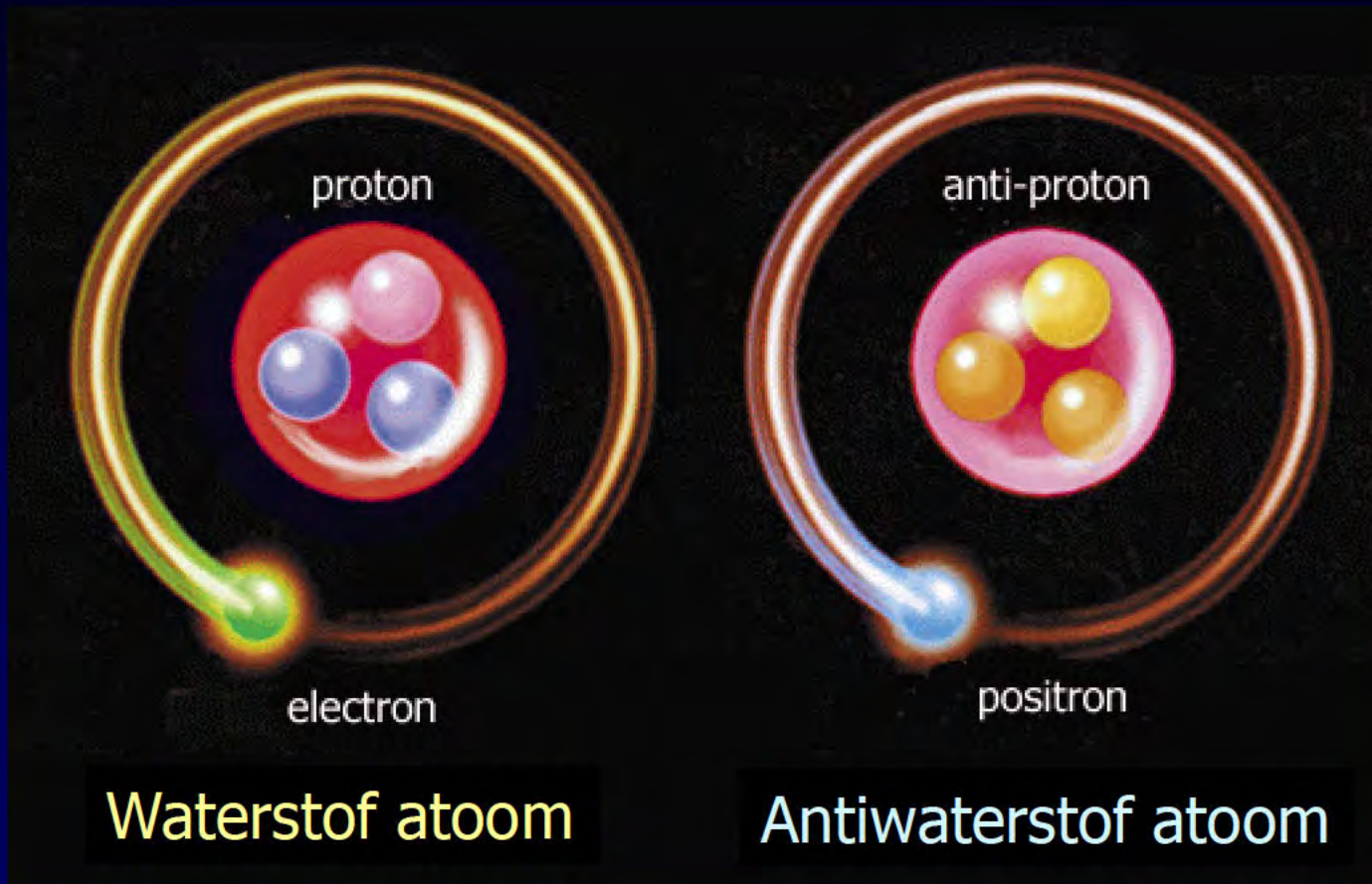
pure energie, licht (γ)

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

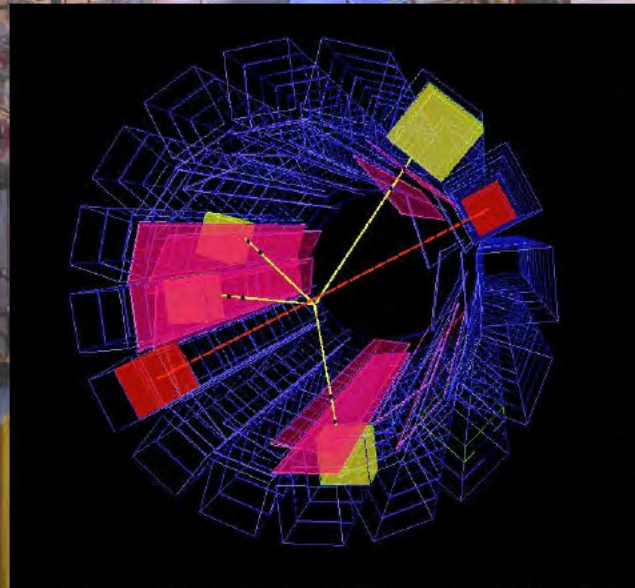
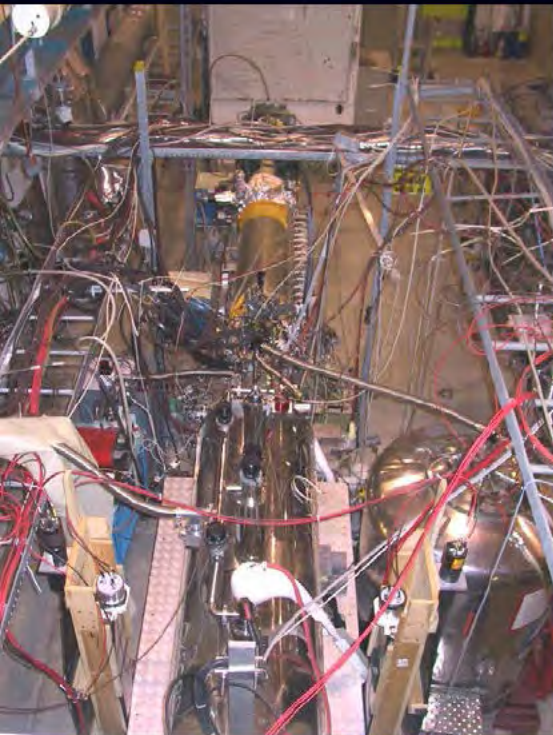


pure energie, licht (γ)

Antimaterie



Het ATHENA experiment op CERN

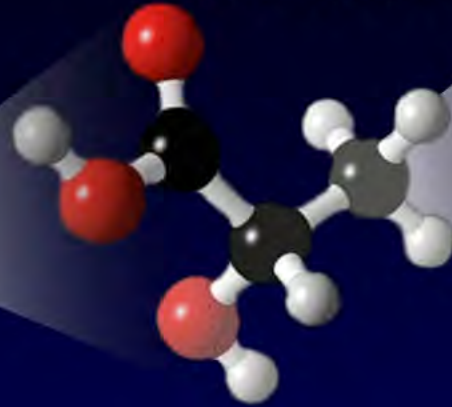


Antimaterie
bestaat echt!

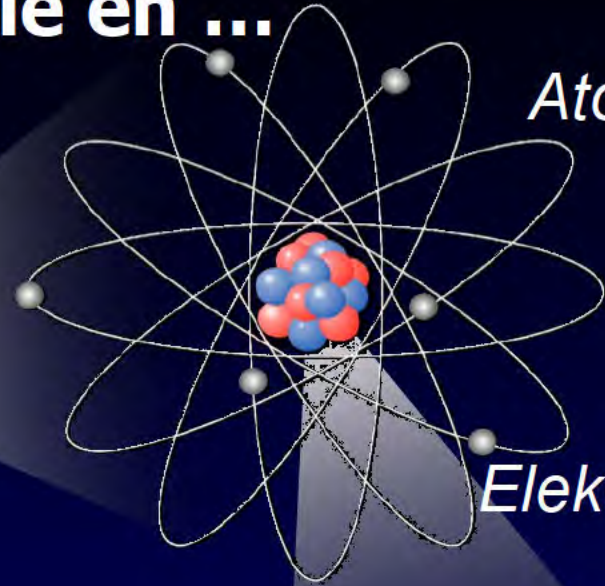
Een wereld van materie en ...



Molecuul



Atoom

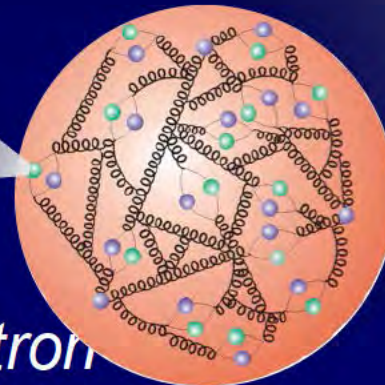


Elektron

'Quark'



Proton/Neutron

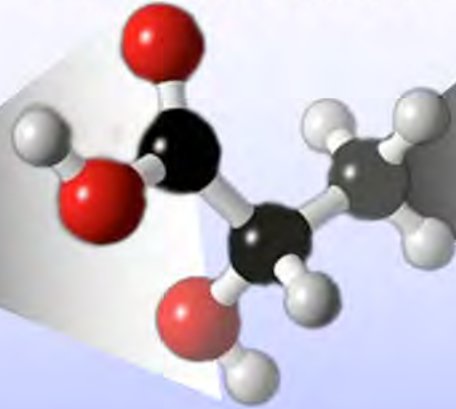


Atoomkern

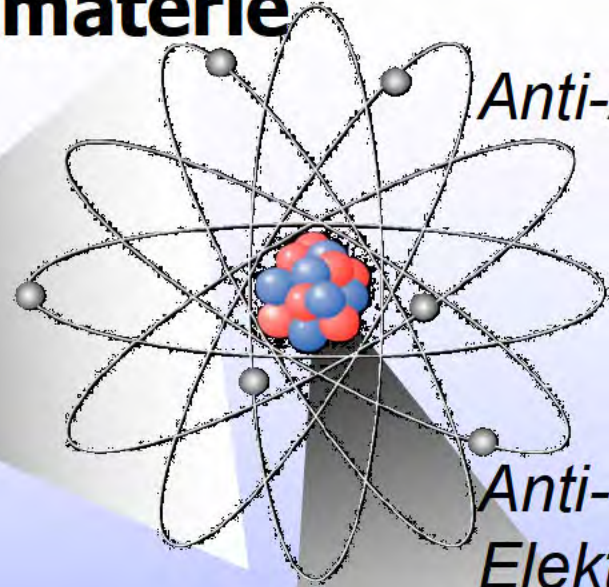
... een wereld van antimaterie



Anti-Molecuul

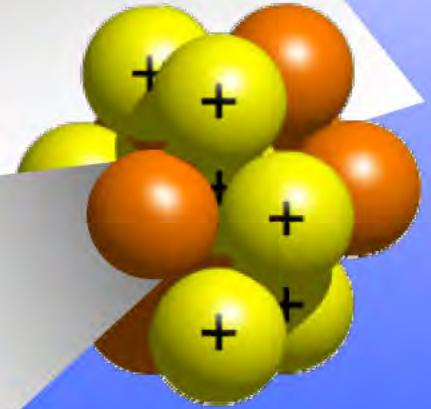


Anti-Atoom



Anti-Elektron

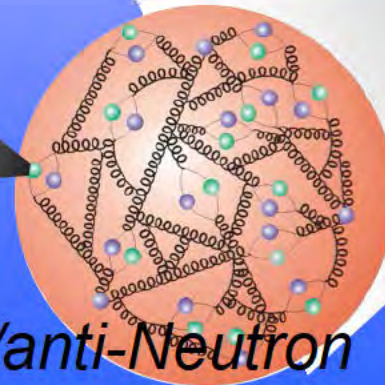
Anti-Quark



Anti-Atoomkern

***Identieke
anti-wereld!***

Anti-Proton/anti-Neutron

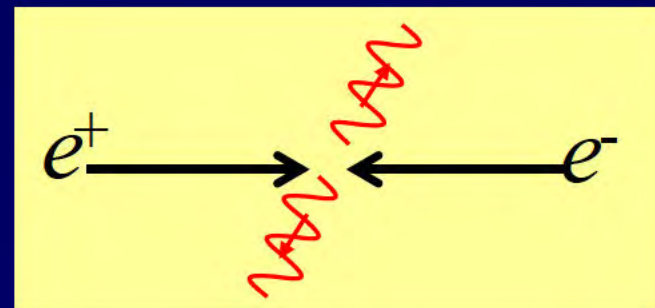


Is er antimaterie in de natuur?

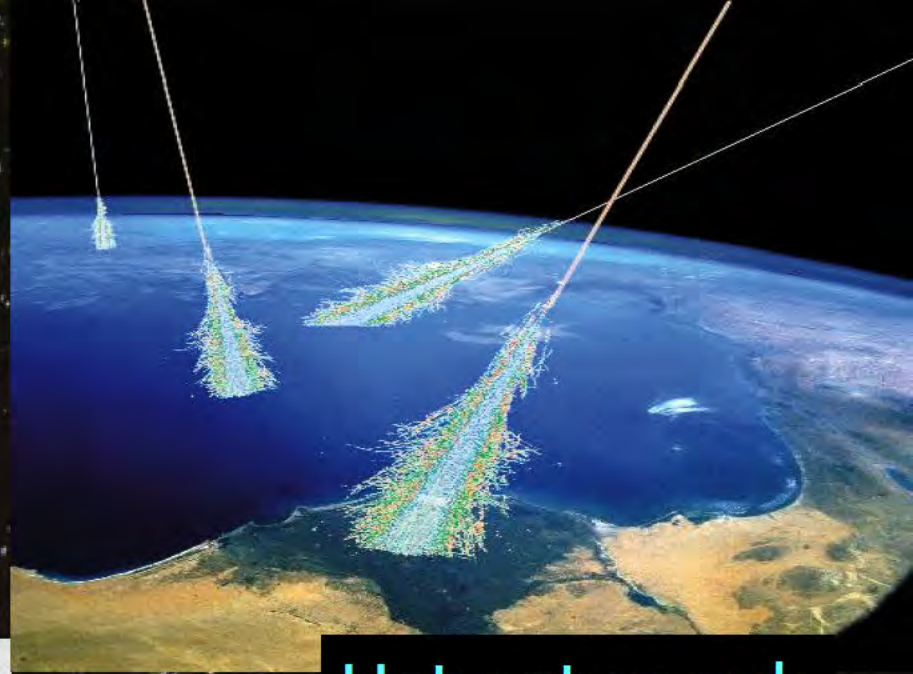
- Komt het voor op Aarde?



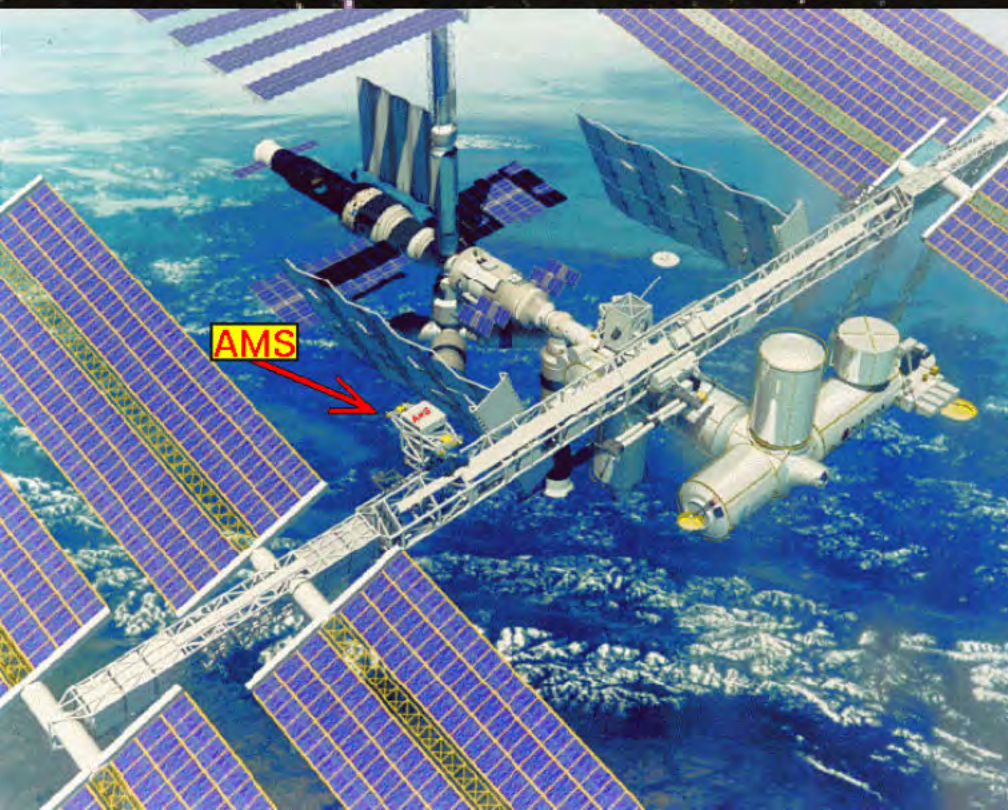
- Nee, we zouden het onmiddellijk zien:
 - "Annihilatie"



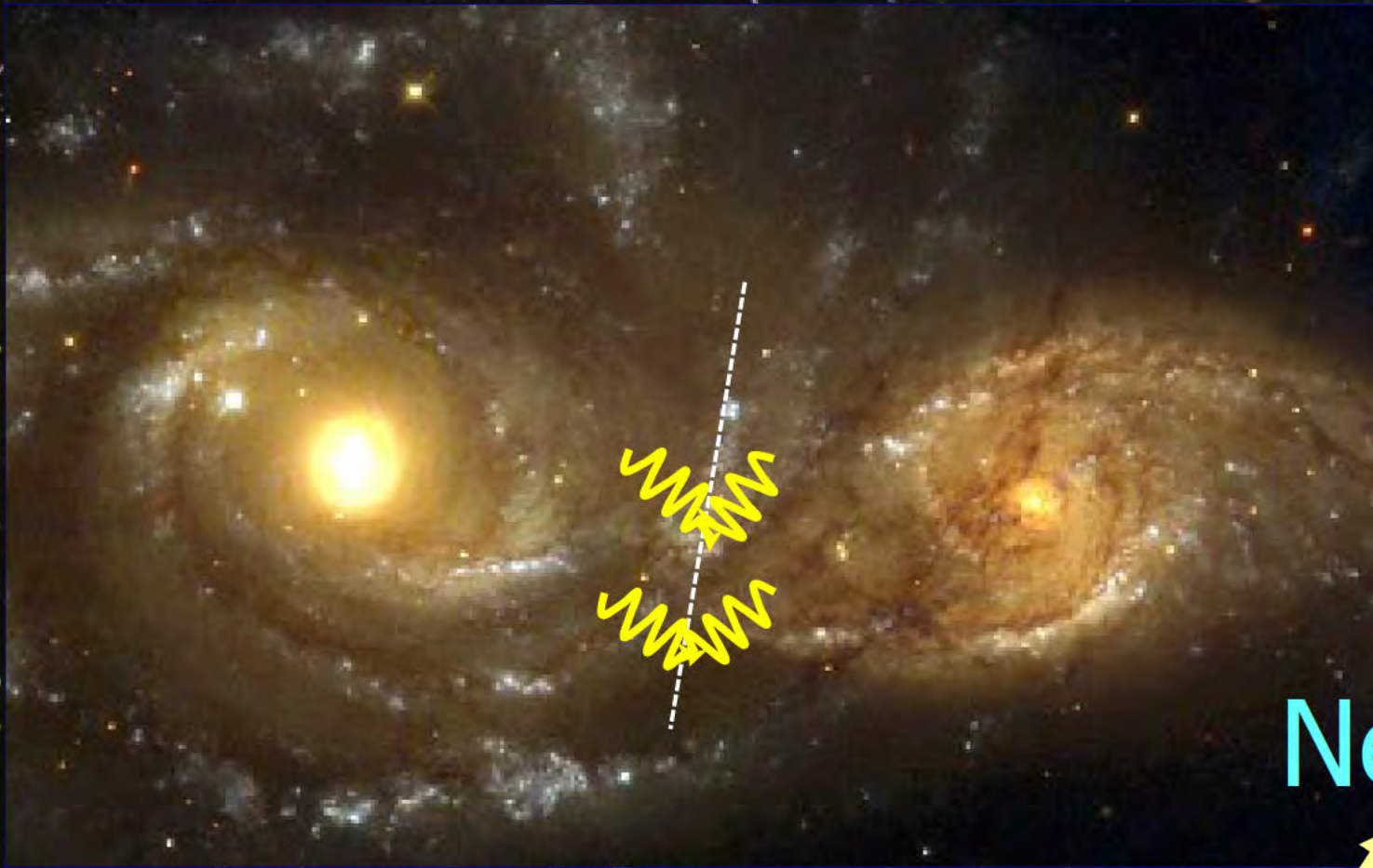
- Is er antimaterie in kosmische straling?
 - Het AMS experiment



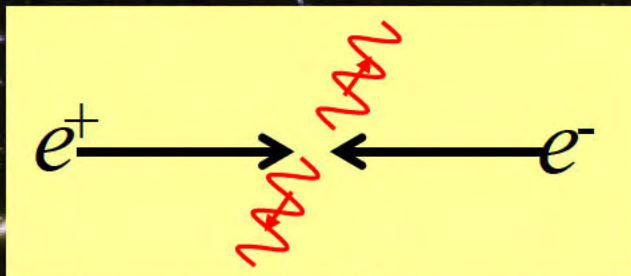
Het antwoord:



Zijn er antimaterie sterrenstelsels?



Nee!



(materie + anti-materie =
Intense gamma stralen)

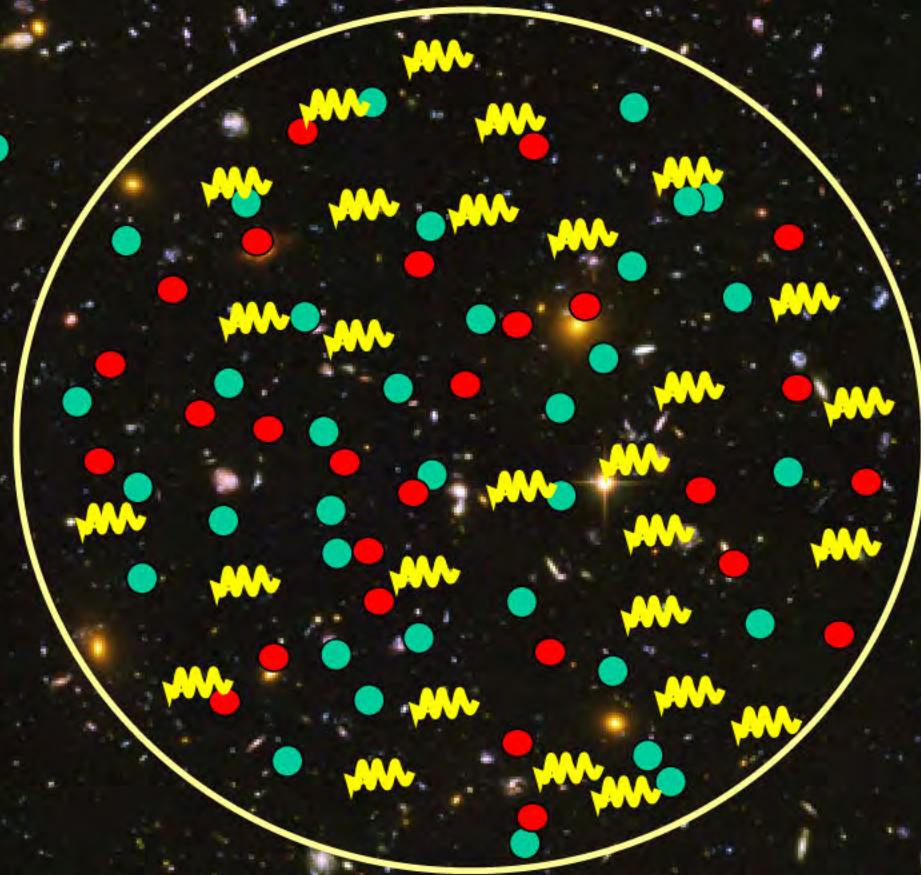
Terug naar de Oerknal

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

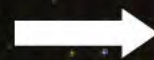
- *materie*
- *antimaterie*
- ⋈ *licht*

Na afkoelen
heffen ● en ●
elkaar op



Er blijft over: **veel licht** en een **beetje materie**

Verhouding : **1000000000** : **1**

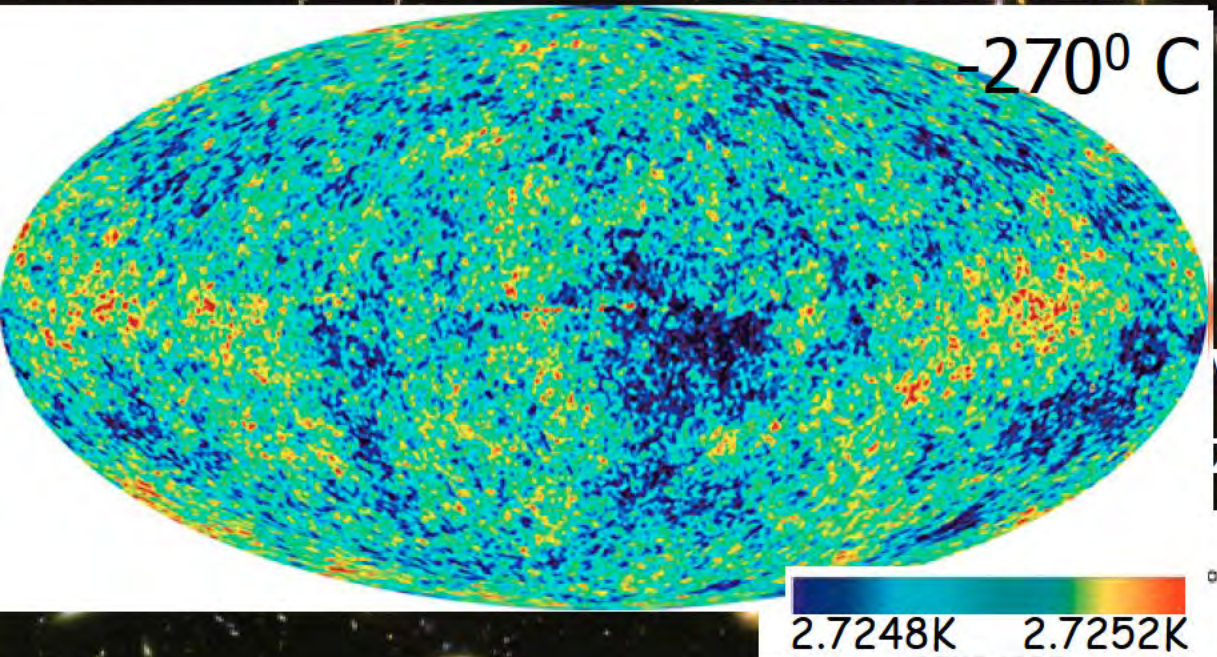


Ons huidige heelal....

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

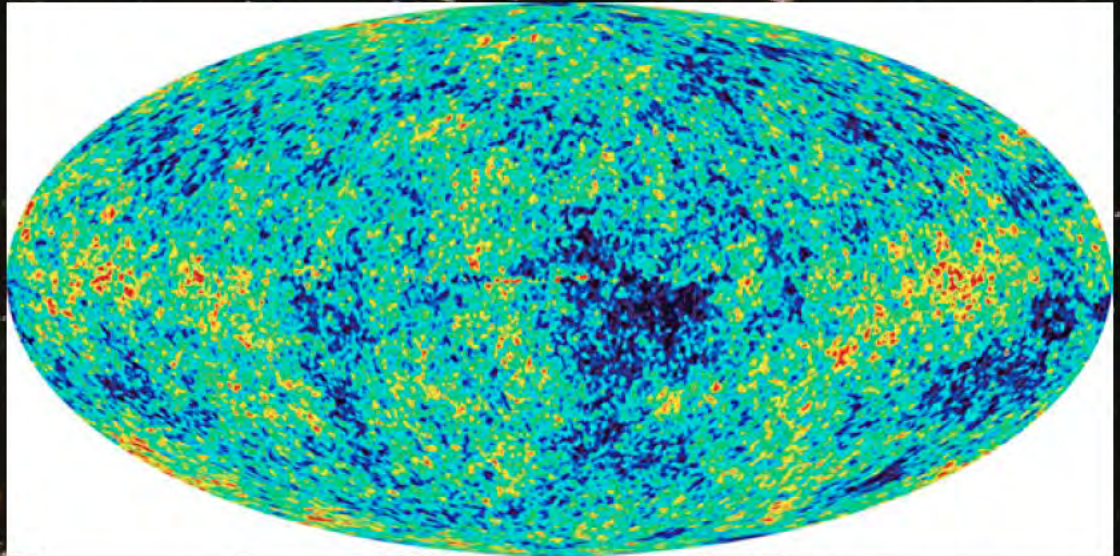
🌊 Waargenomen
Nagloeilicht:

“veel”
(1000000000)

+

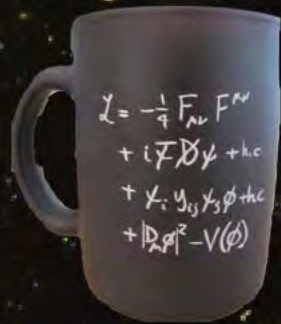
● Resterende
materie:

“weinig”
(1)



Hoe krijgen we een asymmetrie in de Big Bang?

Big Bang *Klein overschot* *Domineert*



Big Bang



Klein overschot

49.9999999%
anti-materie
50.0000001%
materie



Domineert

0.0000001%
materie

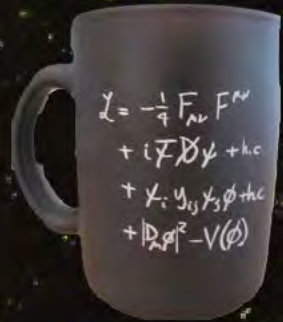
(+99.9999999%
straling)



Blijkbaar is antimaterie **niet** het exacte spiegelbeeld van materie!



Hoe krijgen we een asymmetrie in de Big Bang?

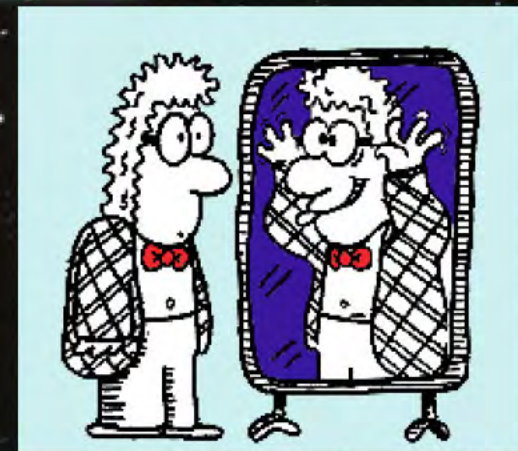


hot Domineert

0.000001%
materie

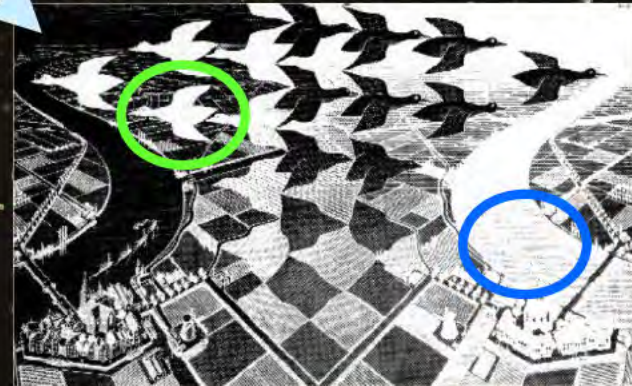
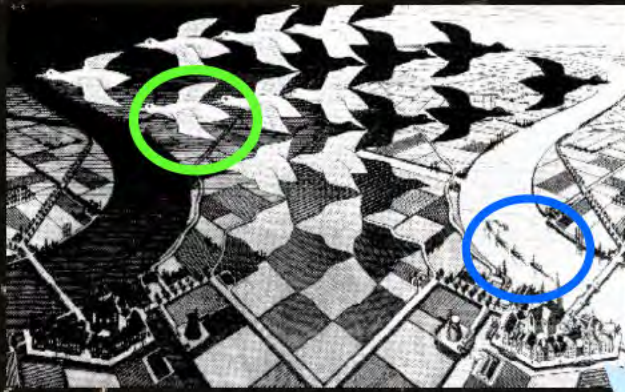
(+99.999999%
straling)

Blijkbaar is antimaterie **niet** het exacte spiegelbeeld van materie!



Escher's impressie over het verschil tussen materie en antimaterie

materie

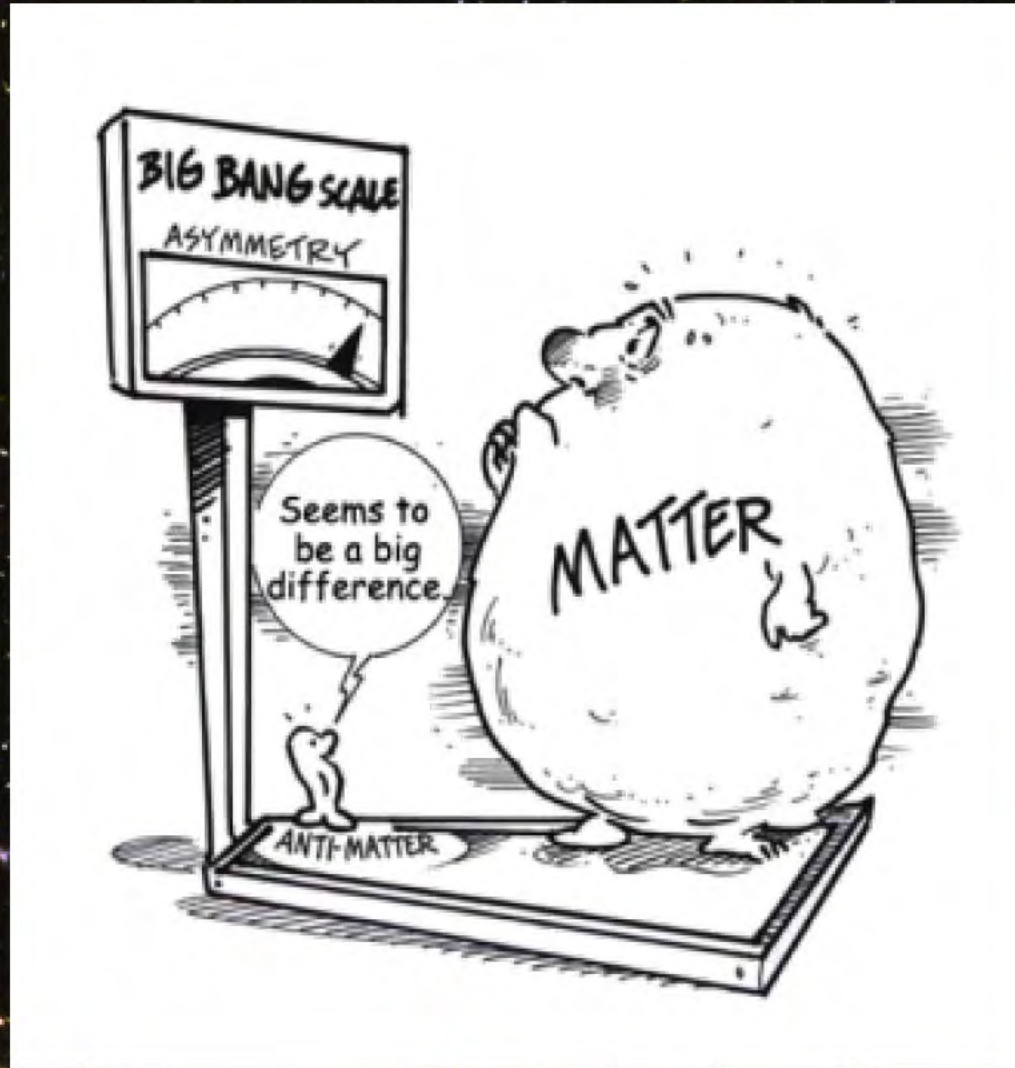


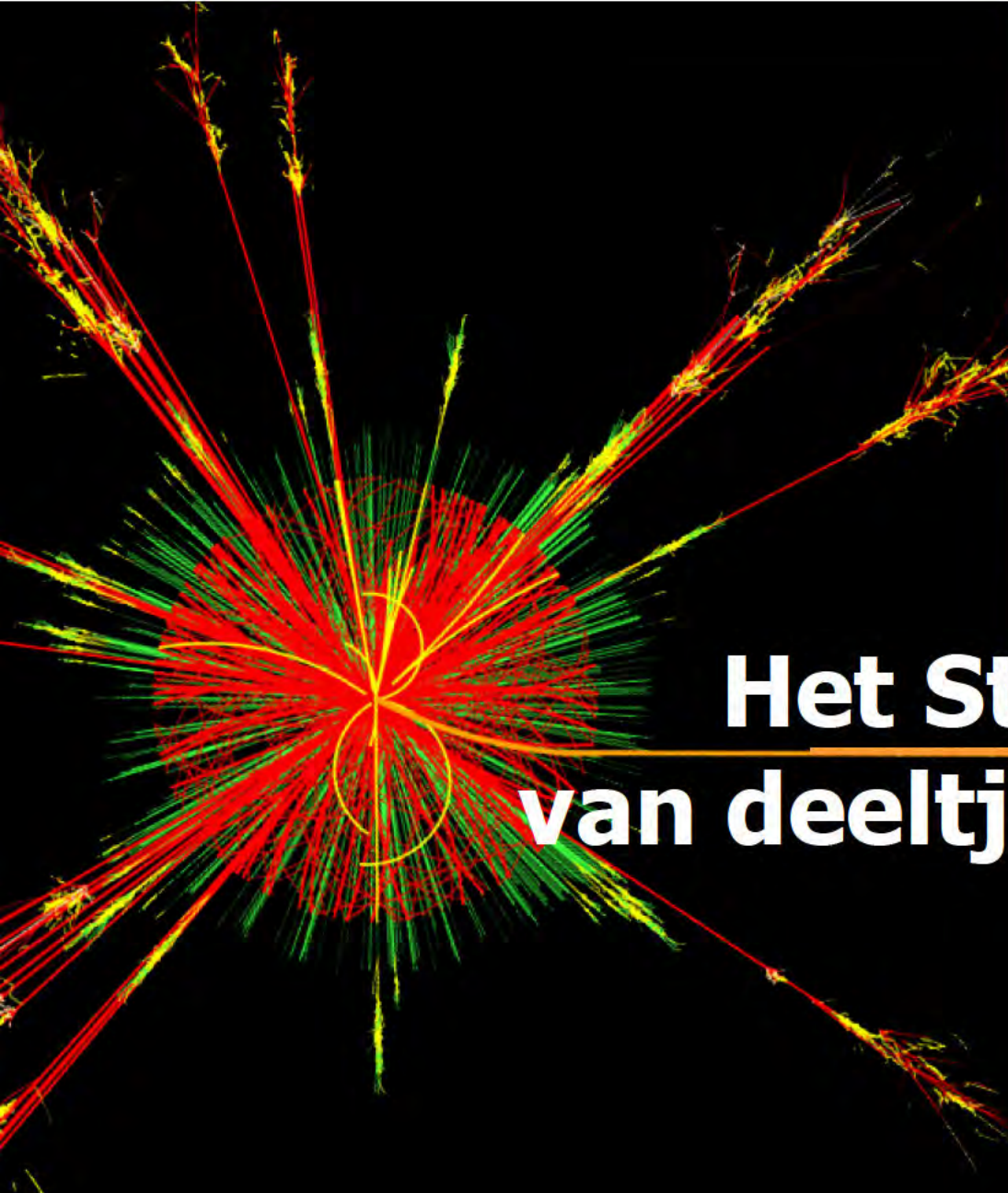
antimaterie

kleur → anti-kleur

links → rechts

Restant Oerknal: veel materie, geen antimaterie?





Quarks

u	c	t
d	s	b

Leptonen

ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ



Krachten

Z	γ
W	g

bosonen: spin=1 deeltjes

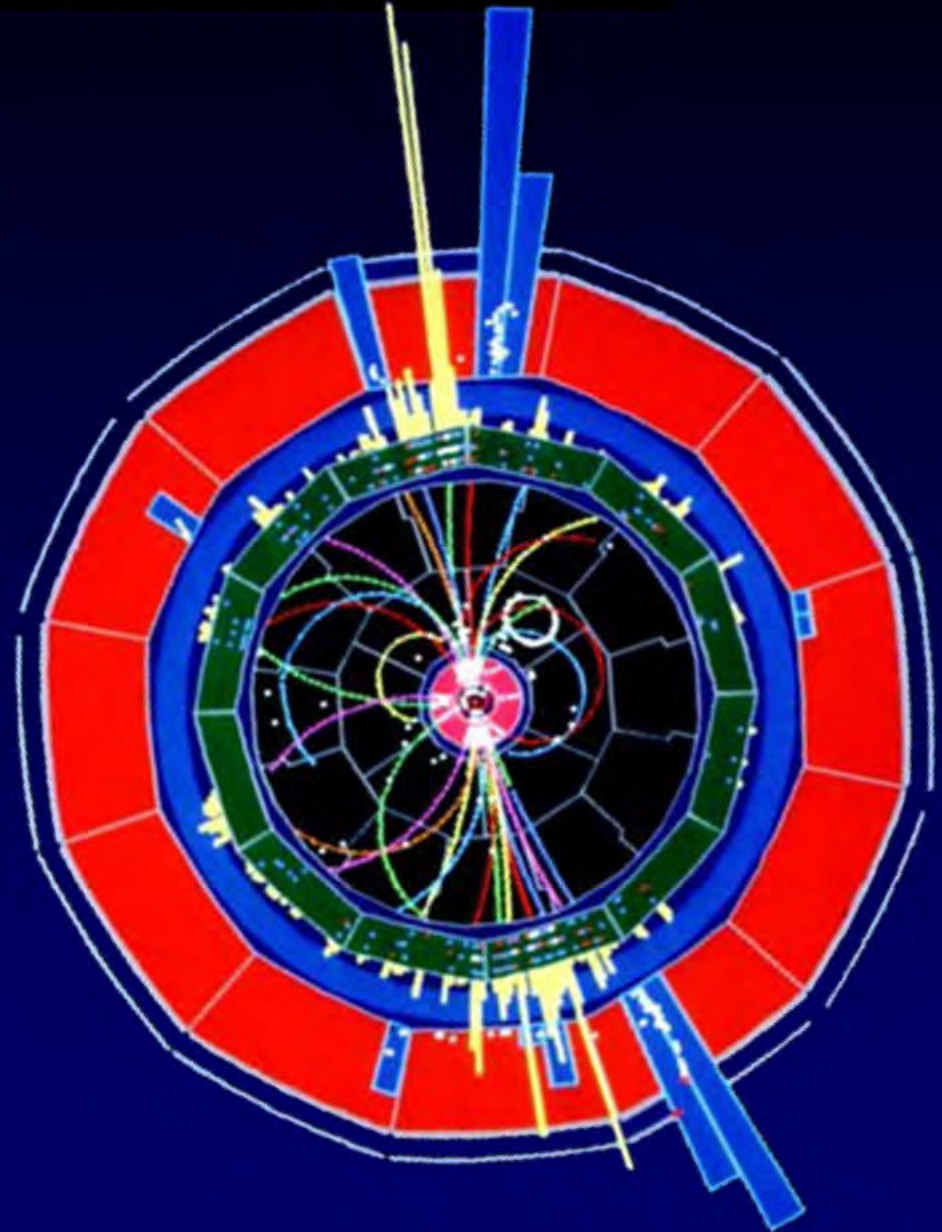
Het Standaardmodel van deeltjes en krachten

De Elementaire Deeltjes: 3 generaties

Generatie:

	I	II	III	<u>Lading</u>
quarks	u	c (1976)	t (1995)	+2/3 e
	d	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



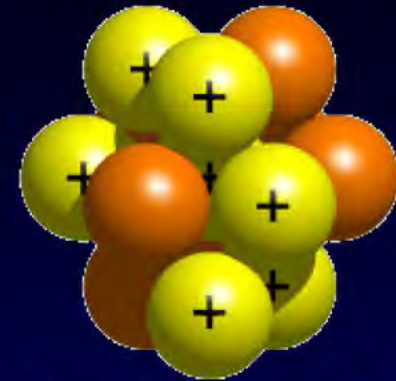
Vier fundamentele natuurkrachten

Zwaartekracht:



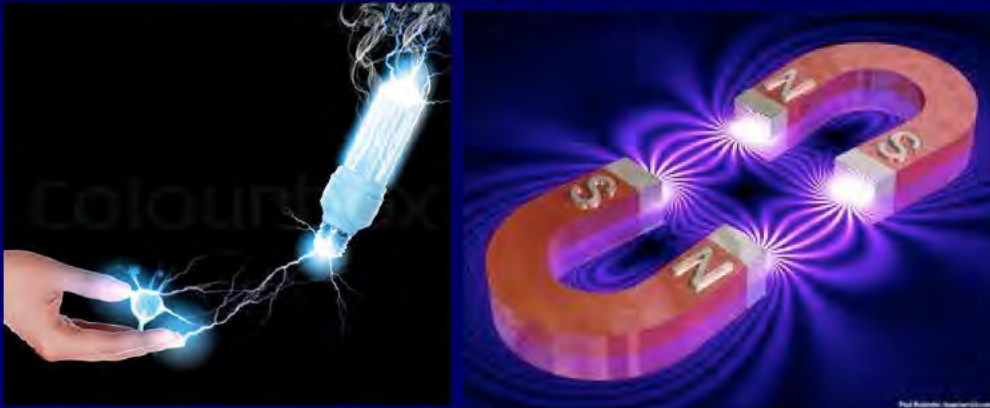
Werkt op alle deeltjes met massa
(gravitonen?)

Sterke kernkracht:



Werkt op alle quarks
(gluonen g)

Elektromagnetisme:



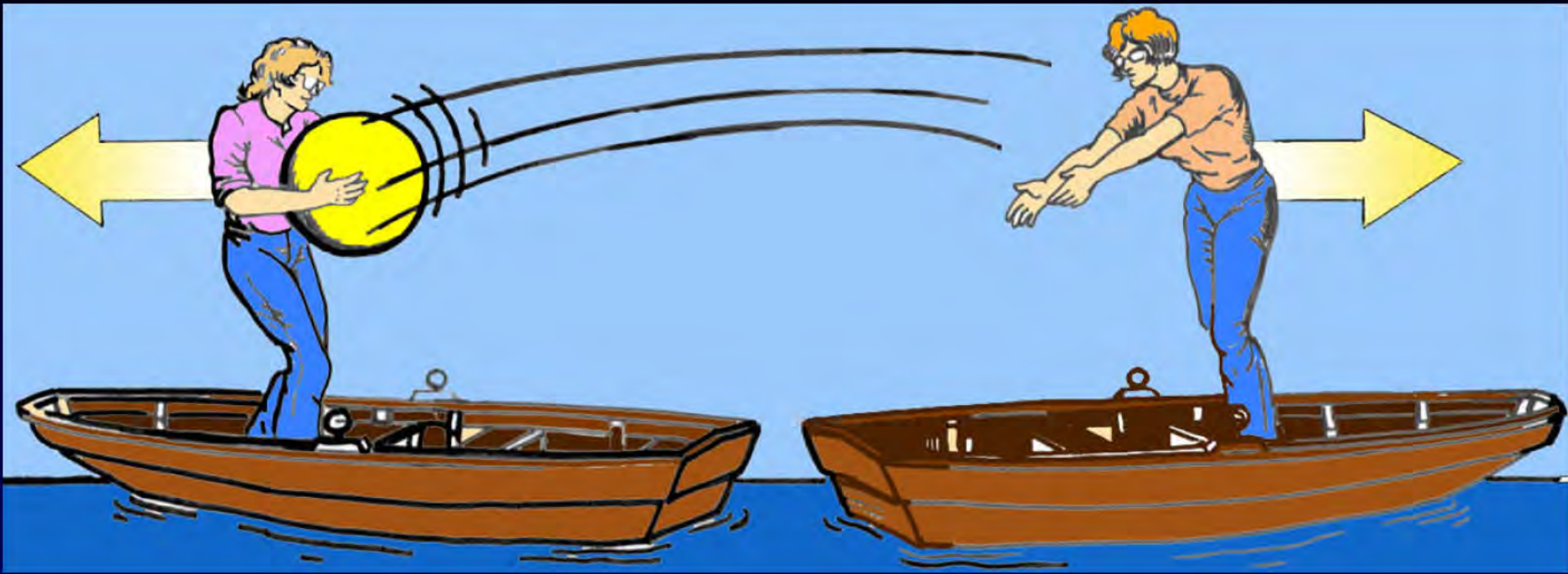
Werkt op alle elektrisch geladen deeltjes
Fotonen γ

Zwakke kernkracht:



Werkt op alle deeltjes
W, Z bosonen

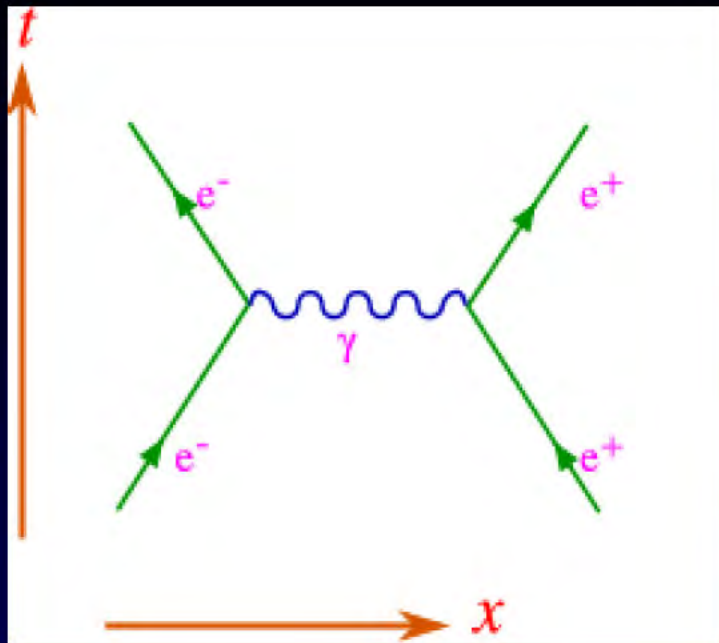
Kracht = deeltjes uitwisseling!!



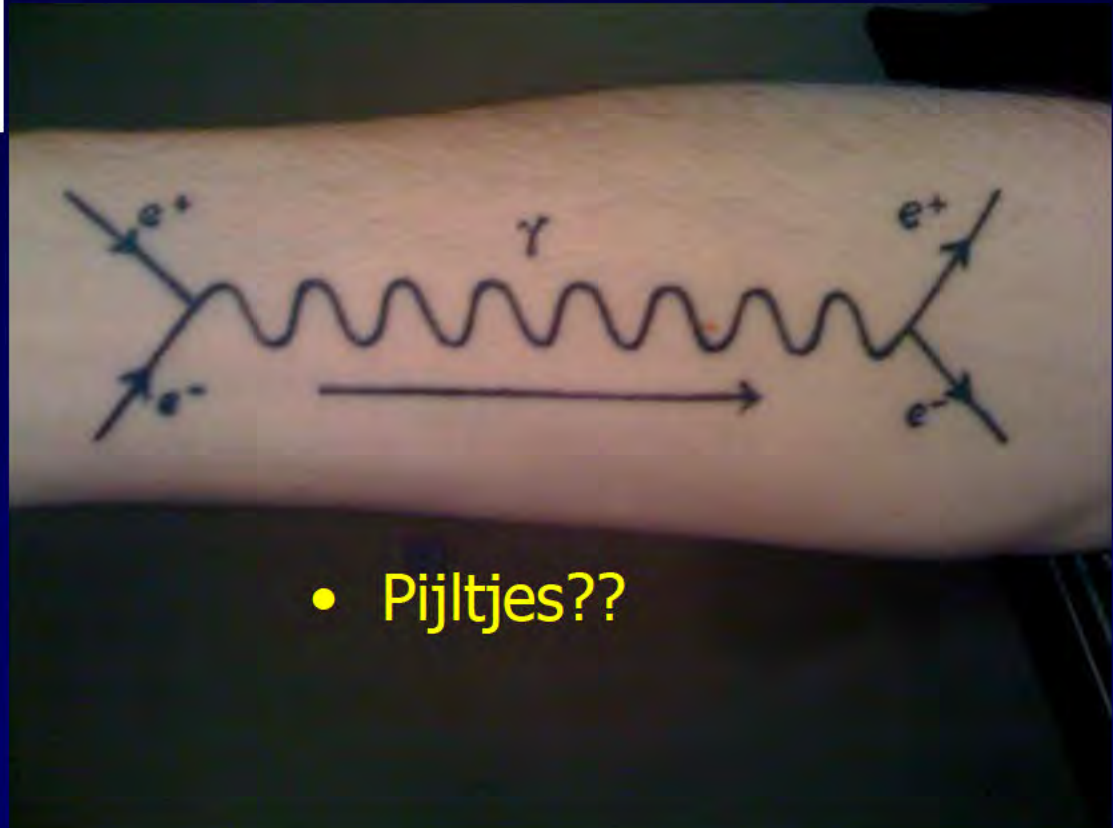
Wat er wordt uitgewisseld noemen we een "quantum" → Quantum Mechanica

- 1) Electromagnetisme: Foton \odot
- 2) Sterke kernkracht: gluon
- 3) Zwakke kernkracht: W^+ , W^- , Z^0
- 4) Zwaartekracht: graviton ??

Het quantum van zwaartekracht is nooit aangetoond.



- Feynman diagram van elektromagnetische kracht
 - Geladen deeltjes wisselen een foton uit



- Pijltjes??

Hoe Sterk zijn de Krachten?



	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and W^+ W^-	Quarks and Gluons
Strength	0.00000000000000 0000000000000000 00000000000001	0.0001	1	60

Deeltjes, krachten en Higgs

Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks

u	c	t
d	s	b

ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ

Leptonen

bosonen: spin=1 deeltjes

Krachten

Z	γ
W	g



Quantum Velden Theorie

Deeltjes en Krachten zijn "*velden*"

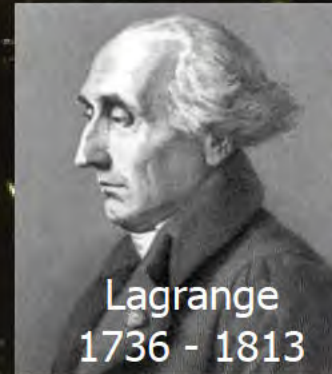
denk aan quantum golffuncties: $\psi(x,t)$

De fundamentele grootheid is de *Lagrangiaan*
(Klassieke mechanica: Bewegingsvergelijkingen volgen)

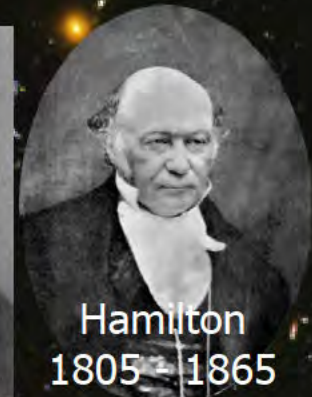
$$\mathcal{L} = T - V$$

T = Kinetische energie

V = Potentiele energie



Lagrange
1736 - 1813

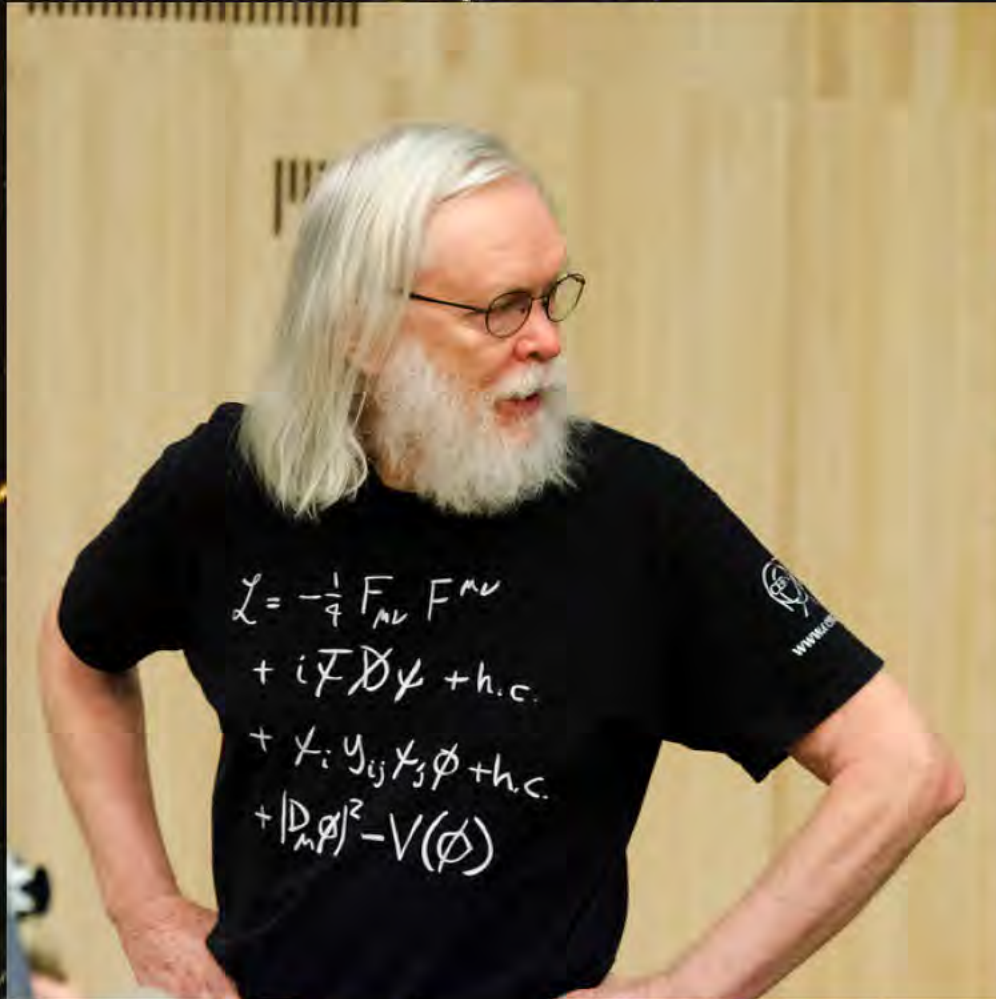


Hamilton
1805 - 1865

Standaardmodel van Quantum Velden Theorie (Recept voor experts):

- Schrijf de Lagrangiaan voor alle bestaande deeltjes en krachten (Elektromagnetisme + Zwakke kracht + Sterke kracht, vergeet Zwaartekracht)
- Eis dat de Lagrangiaan een aantal wiskundige symmetrieën heeft.
- De rest volgt vanzelf: het gedrag van alle deeltjes en hun interacties!

Het Standaard Model



$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\mu^b g_\mu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\mu^c g_\mu^d g_\mu^e + \\
 & \frac{1}{2}ig_s^2 (\bar{\psi}_i \gamma^\mu \psi_j) 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}{2}M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - \\
 & \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}{2}M\phi^0 \phi^0 - \beta_h \frac{2M^2}{g^2} + \\
 & \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 Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\mu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\nu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & W_\nu^- \partial_\nu 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^- - \\
 & W_\nu^- \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^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \\
 & \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 W_\mu^+ W_\nu^-) + \\
 & g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-] - \\
 & \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^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - \\
 & gM W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2}ig [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - \\
 & 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) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \\
 & \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^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \\
 & 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^- - \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)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \\
 & \frac{1}{4}g^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & 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 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^1 s_w^2 A_\mu A_\nu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + \\
 & m_d) d_j^\lambda + ig_s w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma d_j^\lambda)] + \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{1}{3}s_w^2 - 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + \\
 & (\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) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) C_{\lambda\nu} d_j^\nu)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\nu C_{\lambda\nu}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda)] + \\
 & \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_h}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \frac{g}{2} \frac{m_h}{M} [H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \\
 & i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_u^k (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\nu} (1 - \gamma^5) d_j^\nu) + m_u^k (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\nu} (1 + \\
 & \gamma^5) d_j^\nu) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^k (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\nu}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\nu) - m_d^k (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\nu}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\nu) - \\
 & \frac{g}{2} \frac{m_h}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_h}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_h}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_h}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \\
 & \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}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + \\
 & 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^- - \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + \\
 & 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}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} 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^- - \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} igM [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \\
 & \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} igM [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + igM s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \\
 & \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2}igM [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
 \end{aligned}$$



"WOW."

Het Standaard Model van elementaire deeltjes

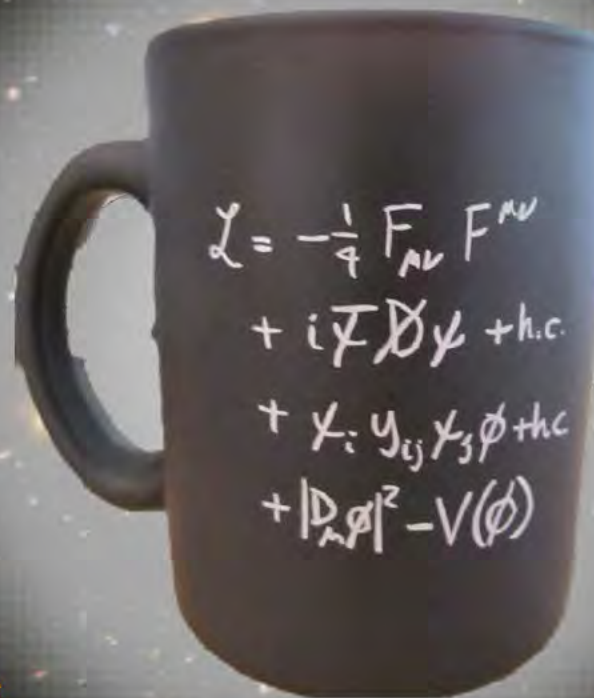
Werkt bij zeer kleine
afstanden
(Kwantummechanica)

(en tegelijkertijd)

Werkt bij zeer hoge
energie (Speciale
Relativiteitstheorie)

Beschrijft alle
natuurkrachten
behalve
zwaartekracht

Onduidelijk theorie
ook voor Big Bang
natuurkunde geldig is



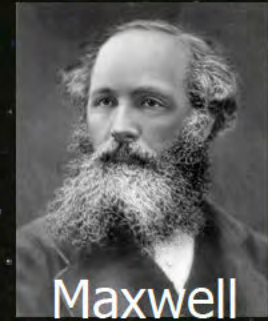
Beschrijft alle
bekende materie
(behalve
donkere)

17 onvoorspelde parameters
(dus niet heel erg predictive?)

Beschrijft maar verklaart niet tal
van opvallende structuren in de natuurwetten

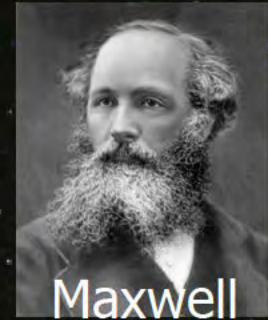
Het Standaard Model

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



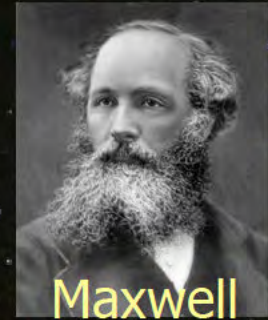
Het Standaard Model

$$\mathcal{L}_{SM} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi} \not{D} \psi$$



Het Standaard Model

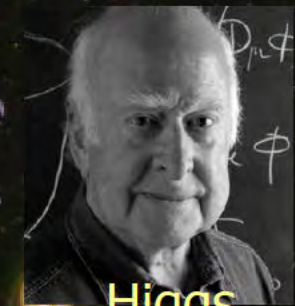
$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{SM} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi}\not{D}\psi \\ & + \psi_i y_{ij}\psi_j\phi \\ & + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$



Maxwell



Dirac



Higgs

Het Standaard Model

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



Kracht-velden

$$+ i\bar{\psi} \not{D} \psi$$



Koppeling van kracht
aan materie-deeltjes

$$+ \psi_i y_{ij} \psi_j \phi$$

Koppeling van Higgs
aan materie-deeltjes

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



Higgs veld

$$\mathcal{L}_{GWS} = \sum_f (\bar{\Psi}_f (i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f) \Psi_f - eQ_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu) +$$



Sheldon Glashow



Abdus Salam



Steven Weinberg

$$-\frac{1}{2} M_\eta^2 \eta^2 - \frac{g_{iv} \eta}{8M_W} \eta^3 - \frac{g_{iv} \eta}{32M_W} \eta^4 + |M_W W_\mu^+ + \frac{g}{2} \eta W_\mu^+|^2 +$$

$$+\frac{1}{2} |\partial_\mu \eta + iM_Z Z_\mu + \frac{ig}{2c_w} \eta Z_\mu|^2 - \sum_f \frac{g}{2} \frac{m_f}{M_W} \bar{\Psi}_f \Psi_f \eta$$

Stan

Model



"LIEVERD, JE HEBT JE BEST GEDAAN,
MAAR ZO SMERIG HEB IK NOOG NOOIT GEGETEN."

Het Standaard Model

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



Kracht-velden

$$+ i\bar{\psi} \not{D} \psi$$



Koppeling van kracht
aan materie-deeltjes

$$+ \dots$$

Koppeling van Higgs
aan materie-deeltjes

$$+ \dots$$

$$\phi$$



Higgs veld

$$(\phi)$$

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



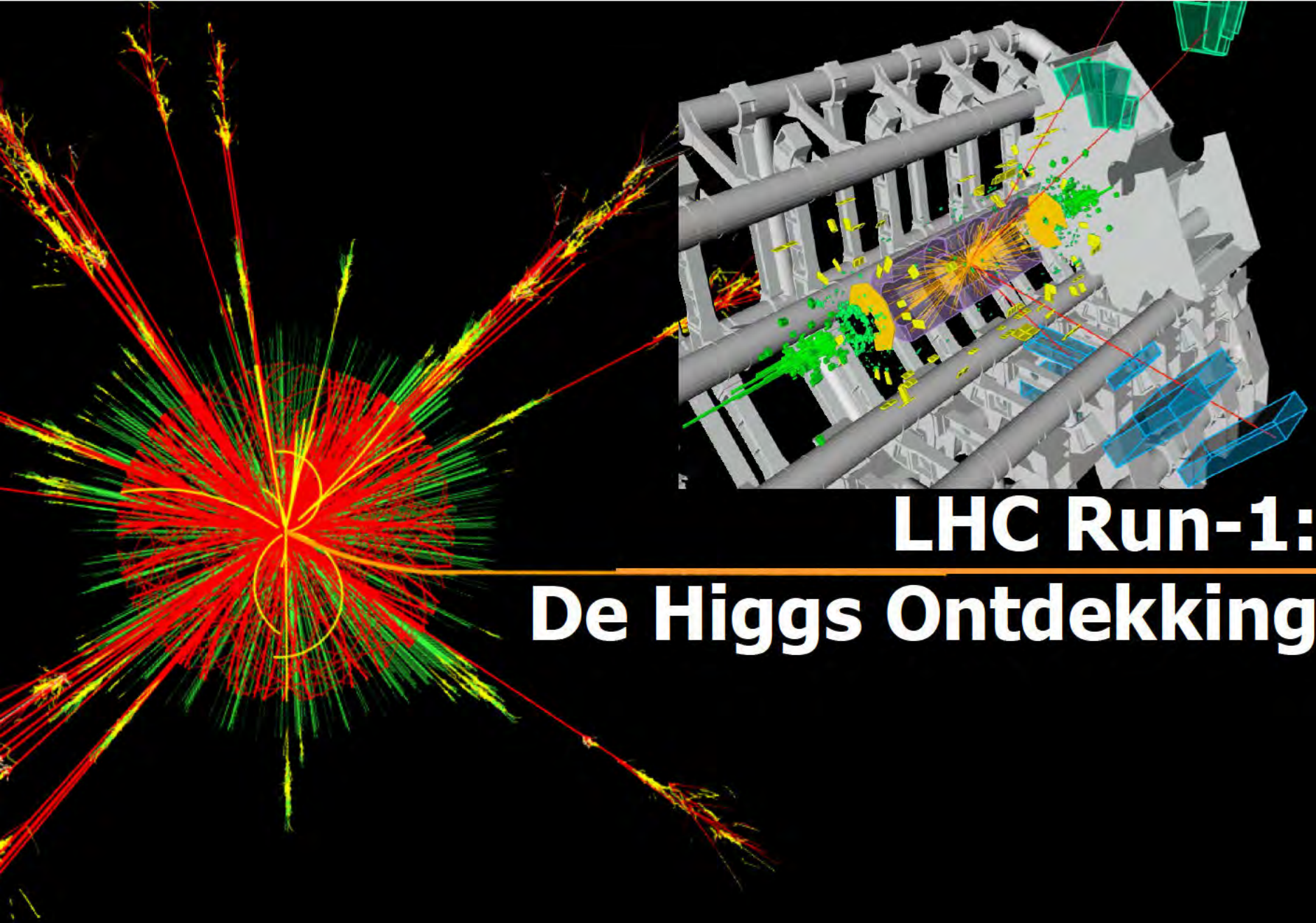
H

Higgs deeltje
een "veld-kwantum"



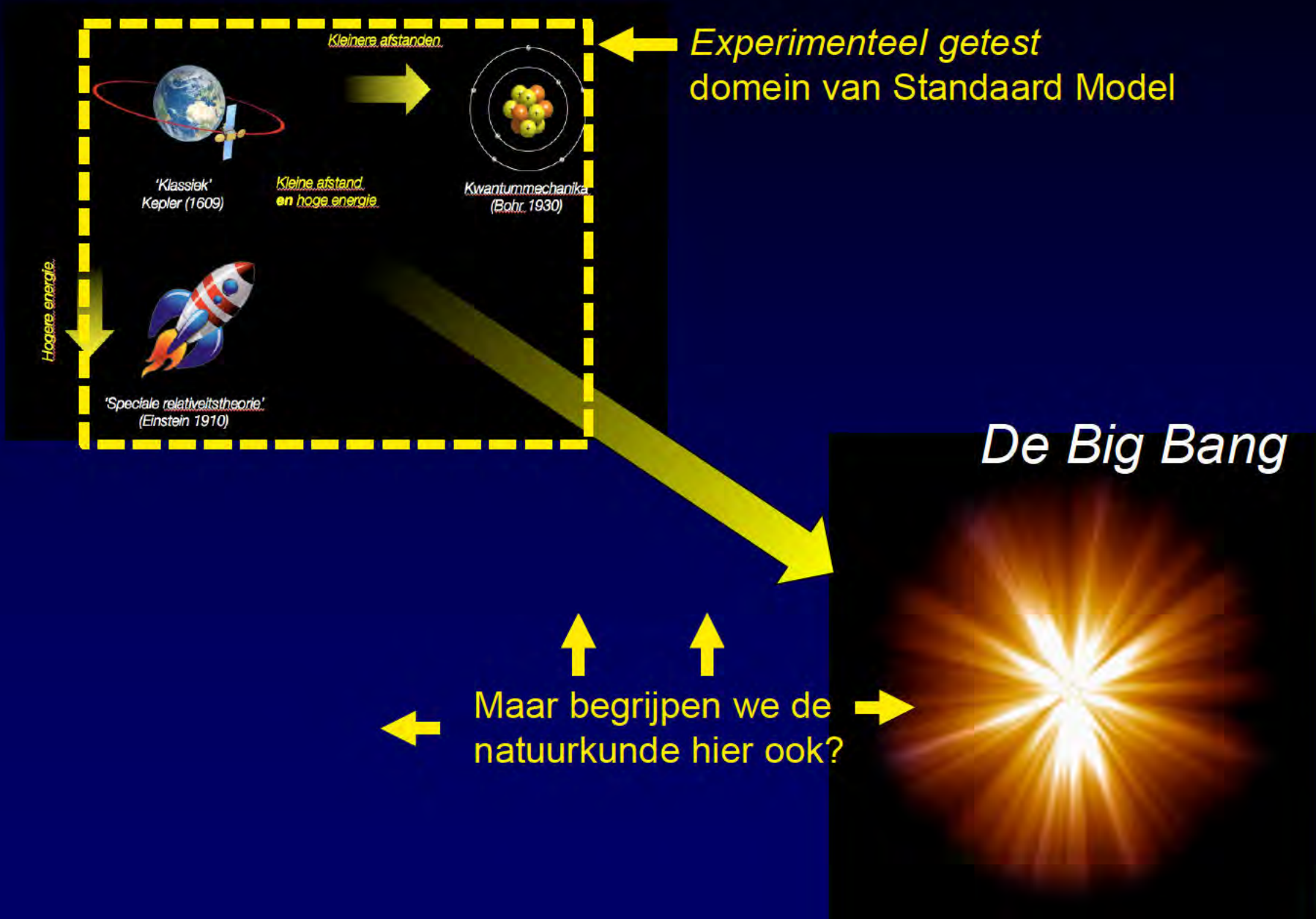


"KOFFIE!"

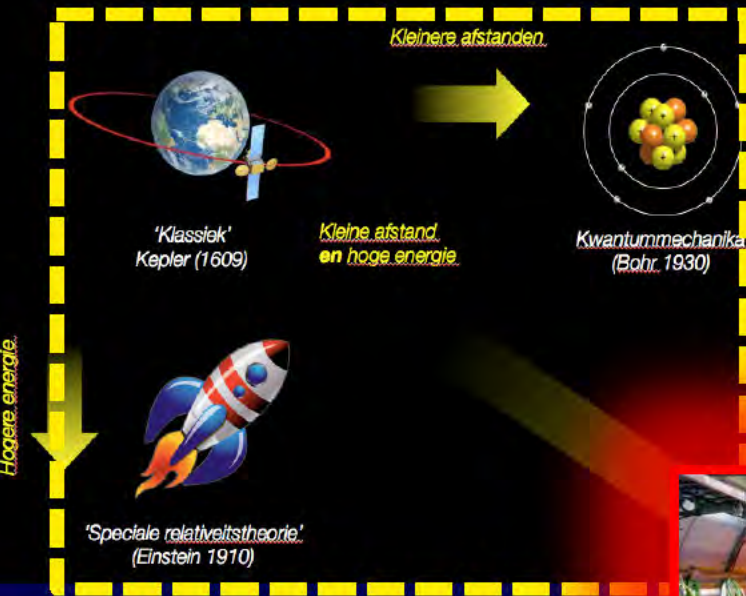


LHC Run-1: De Higgs Ontdekking

Hoe gedraagt de natuur zich onder extreme omstandigheden?



Hoe gedraagt de natuur zich onder extreme omstandigheden?



← Experimenteel getest domein van Standaard Model



De Large Hadron Collider



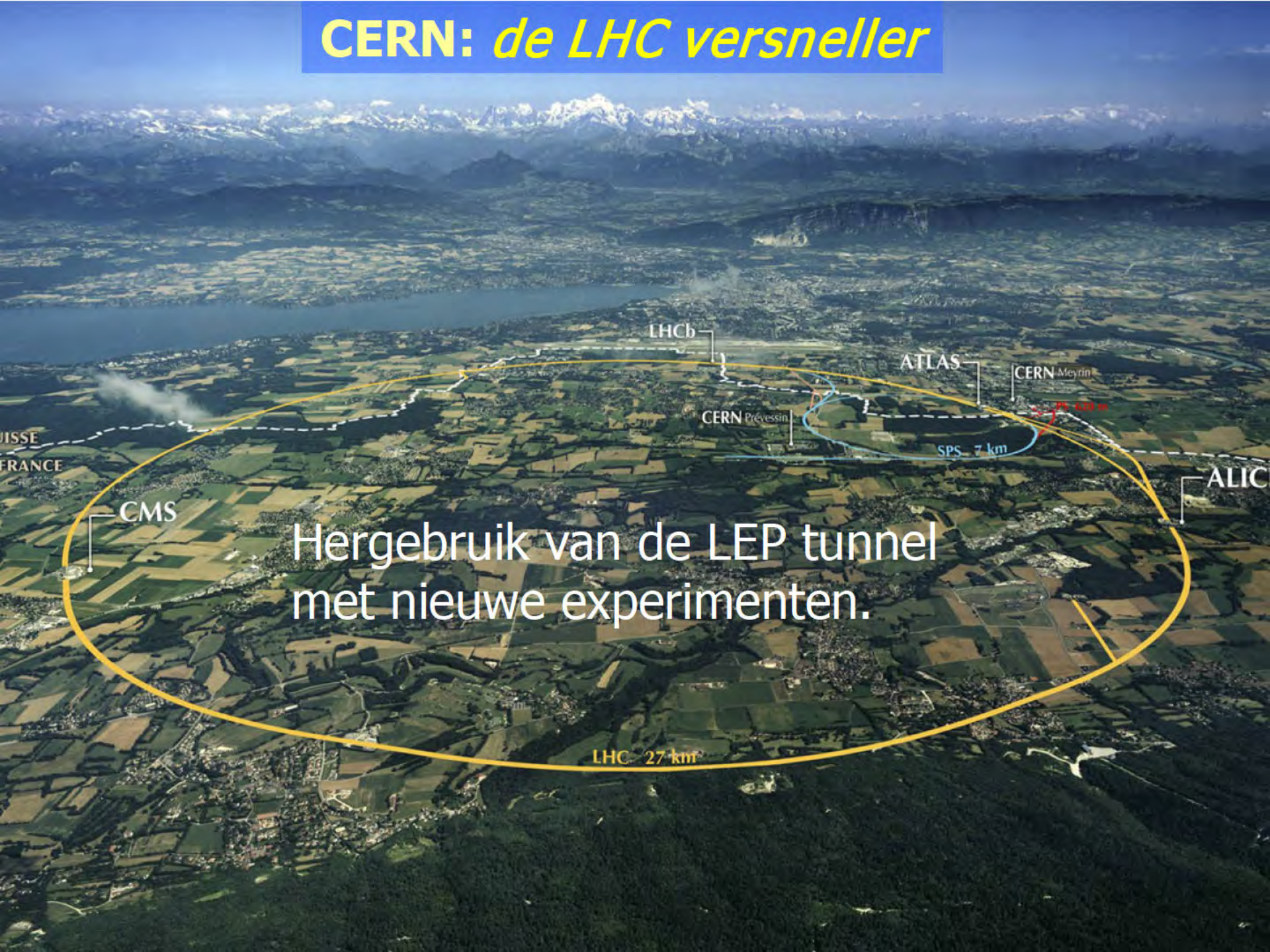
SO, WHAT DOES THE LITTLE HADRON COLLIDER SCIENTIST WANT?

Call OTTAWA CITIZEN
Cartoonists.com
info@otawacitizen.com

THE HIGGS
BOSON
PARTICLE!



CERN: *de LHC versneller*



UISSE
FRANCE

CMS

LHCb

CERN Prévessin

ATLAS

CERN Meyrin

SPS 7 km

ALICE

Hergebruik van de LEP tunnel
met nieuwe experimenten.

LHC 27 km

De LHC versneller



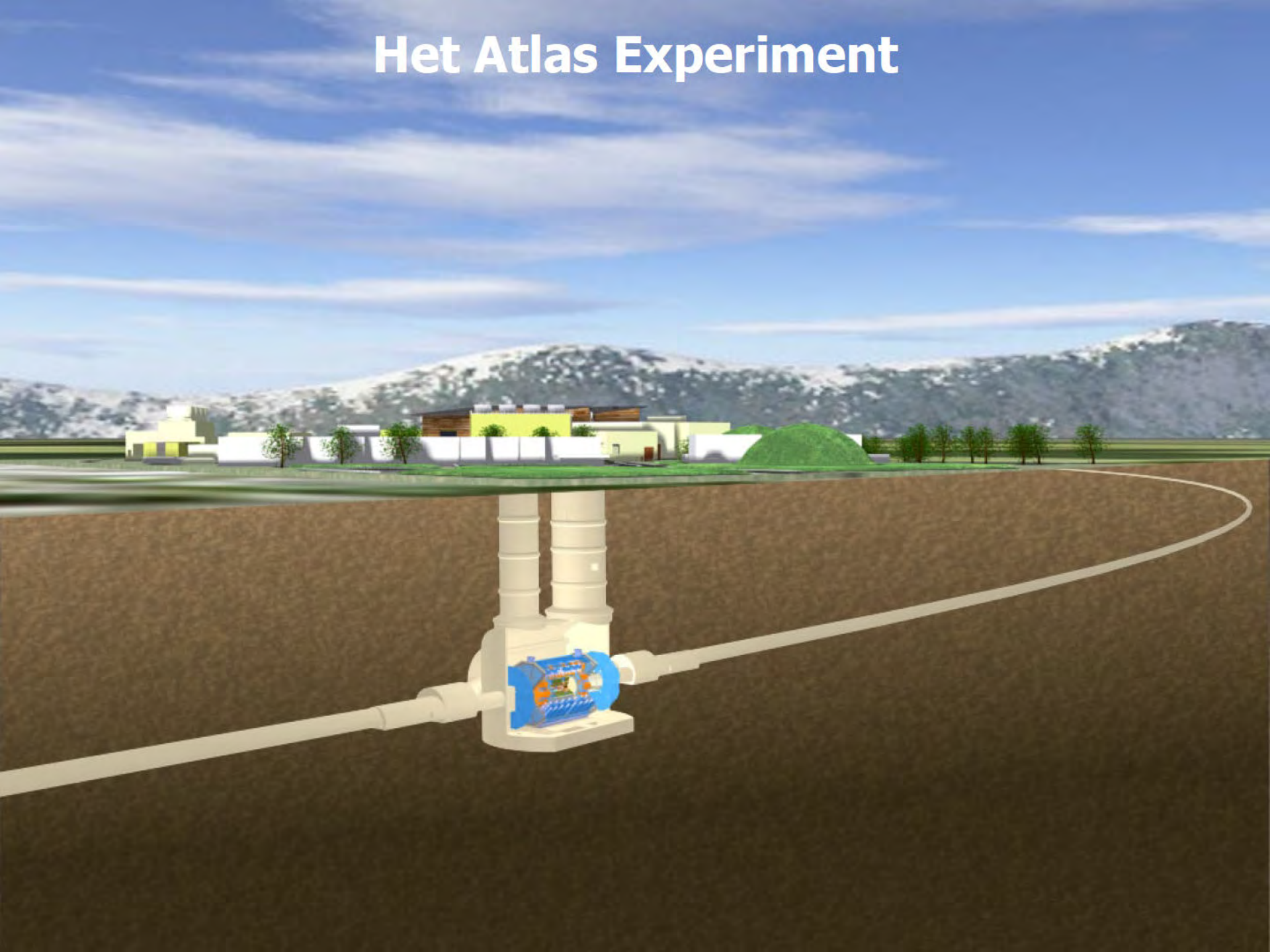
Proton bundel 1

Proton bundel 2



Totale bundel energie gelijk aan een TGV op volle snelheid

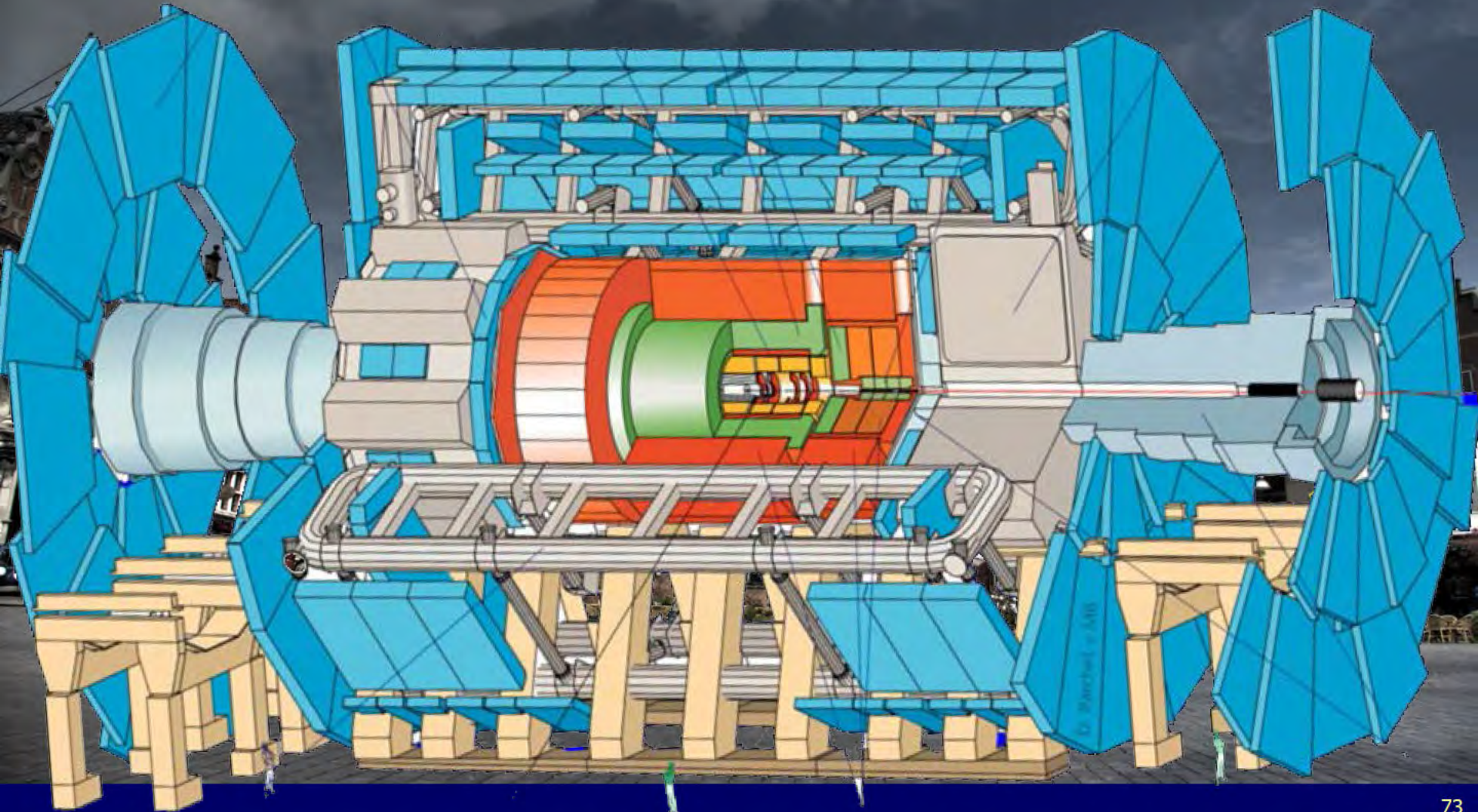
Het Atlas Experiment



Het Atlas Experiment

Het grootste fototoestel op aarde

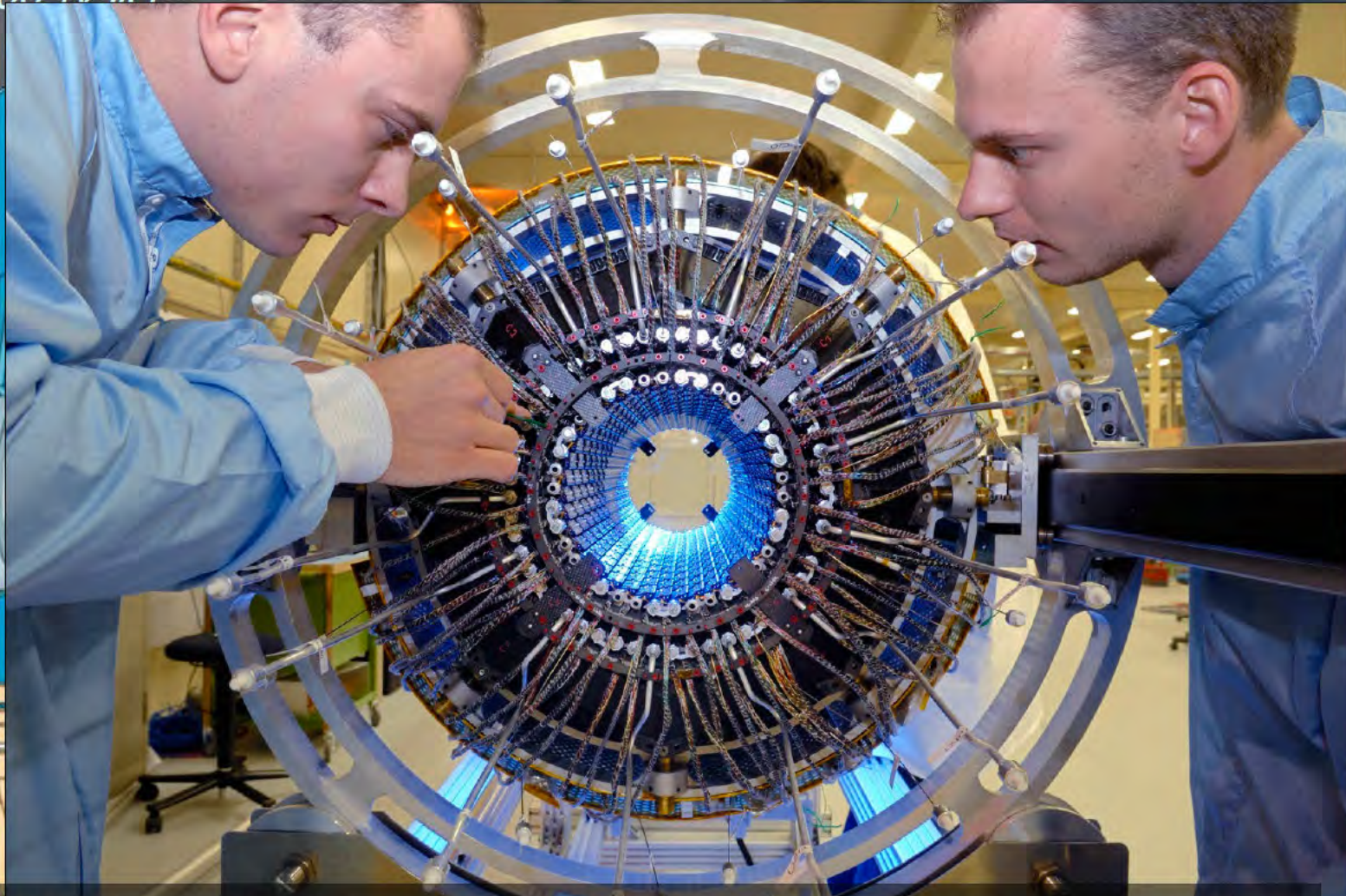
- 45m x 25 m
- 2500 fysici



Het Atlas Experiment

Het grootste fototoestel op aarde

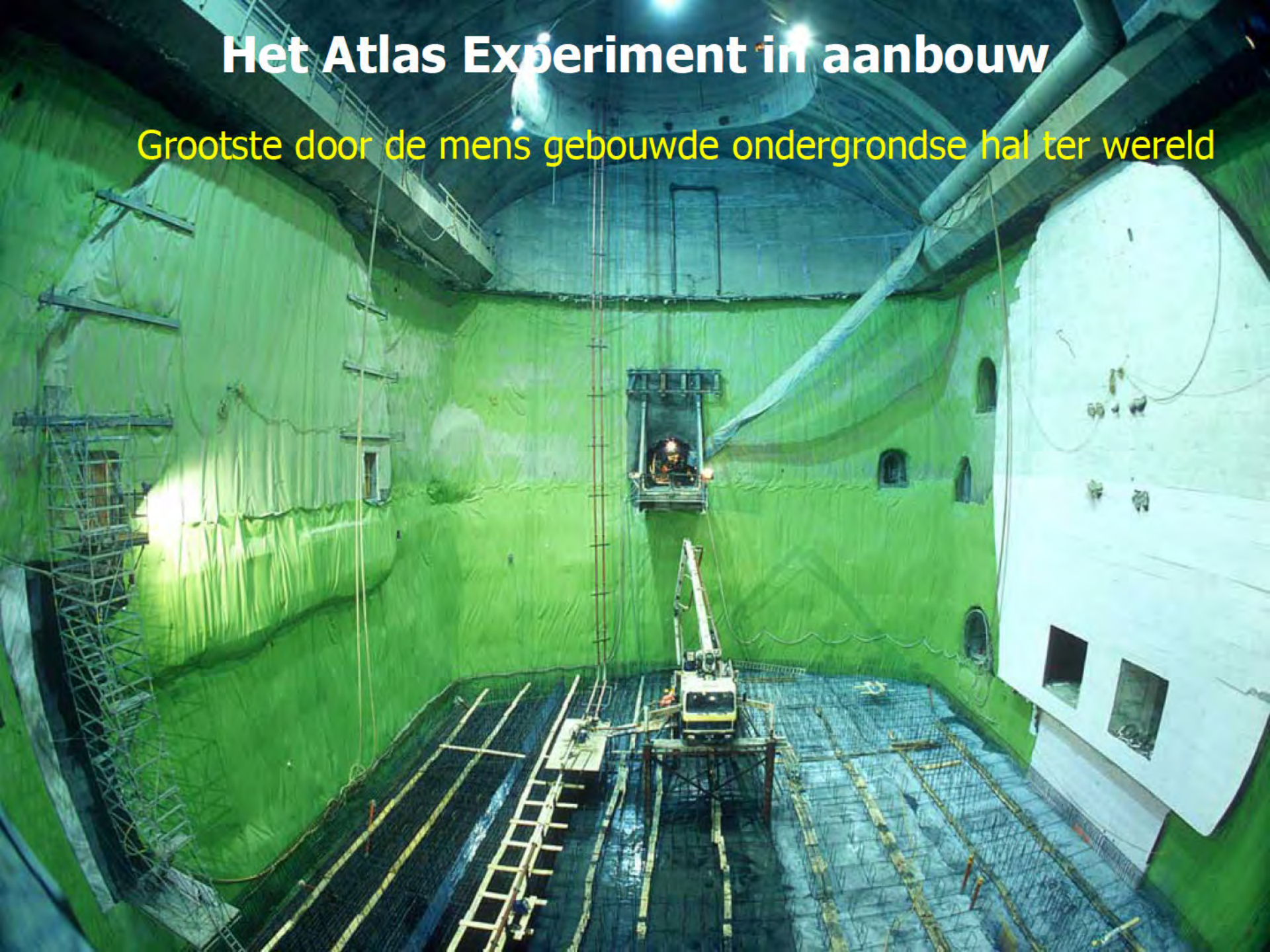
- 45m x 25 m
- 2500 fysici



80 MegaPixel camera 40.000.000 foto's per seconde

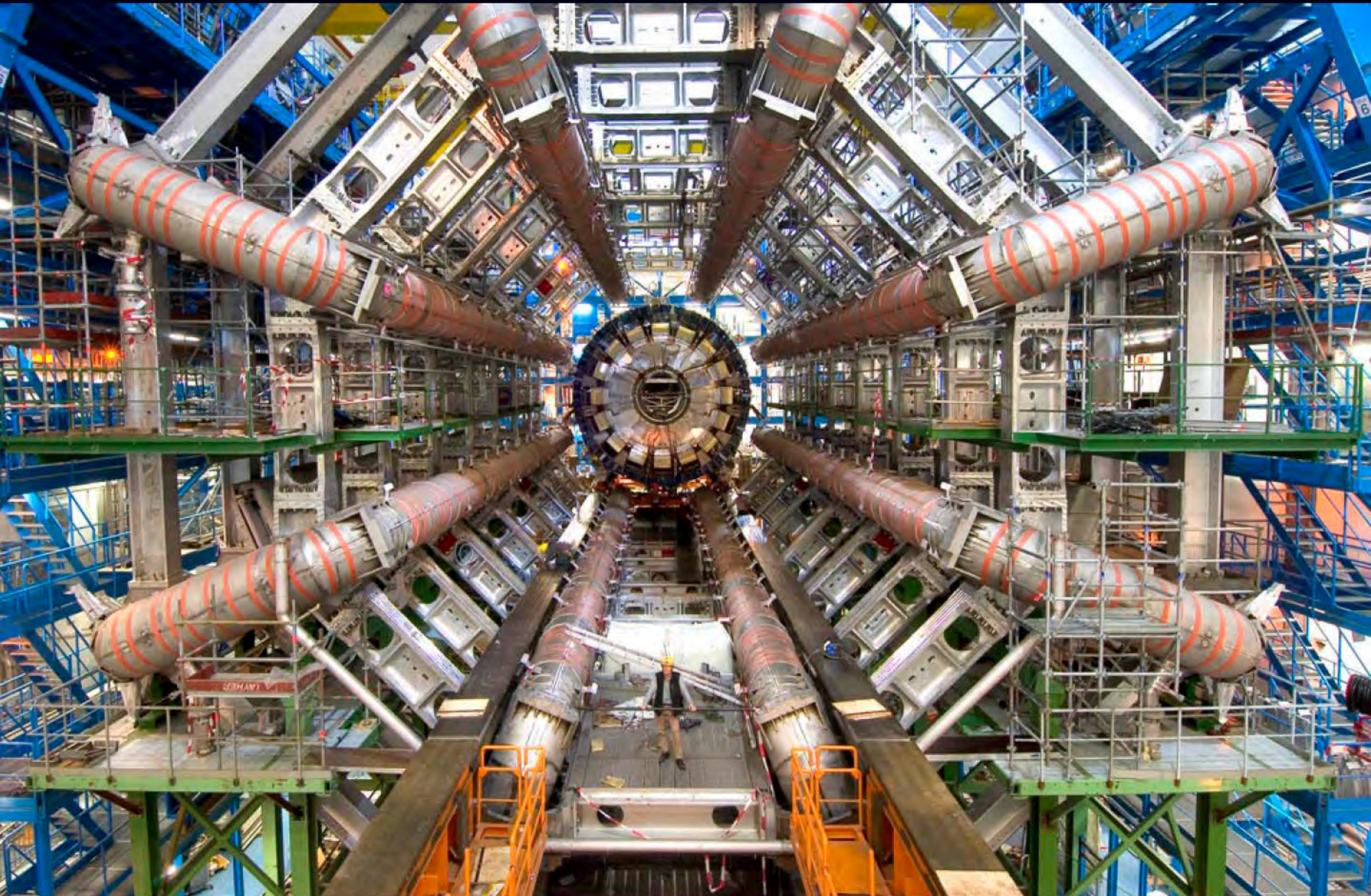
Het Atlas Experiment in aanbouw

Grootste door de mens gebouwde ondergrondse hal ter wereld

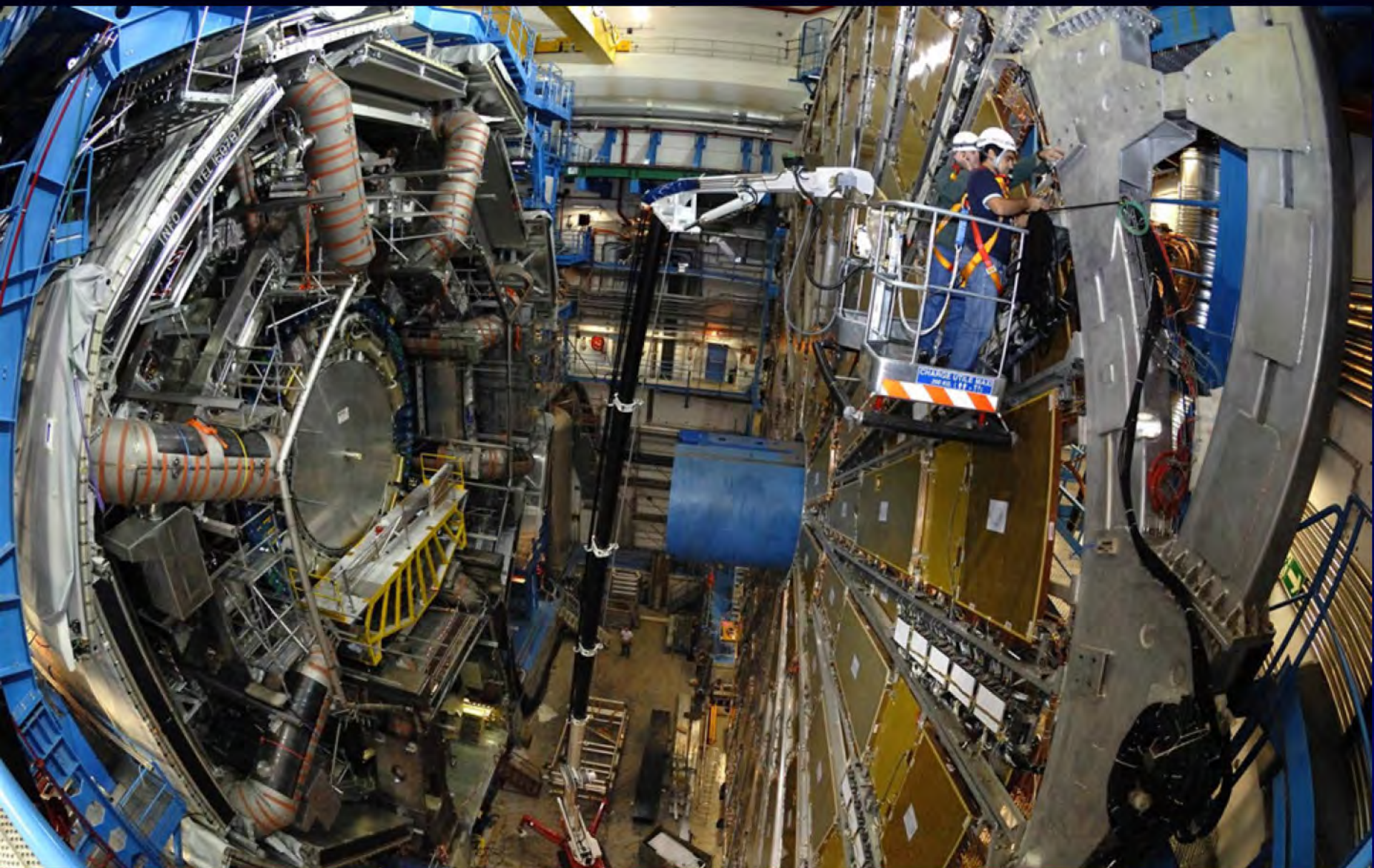




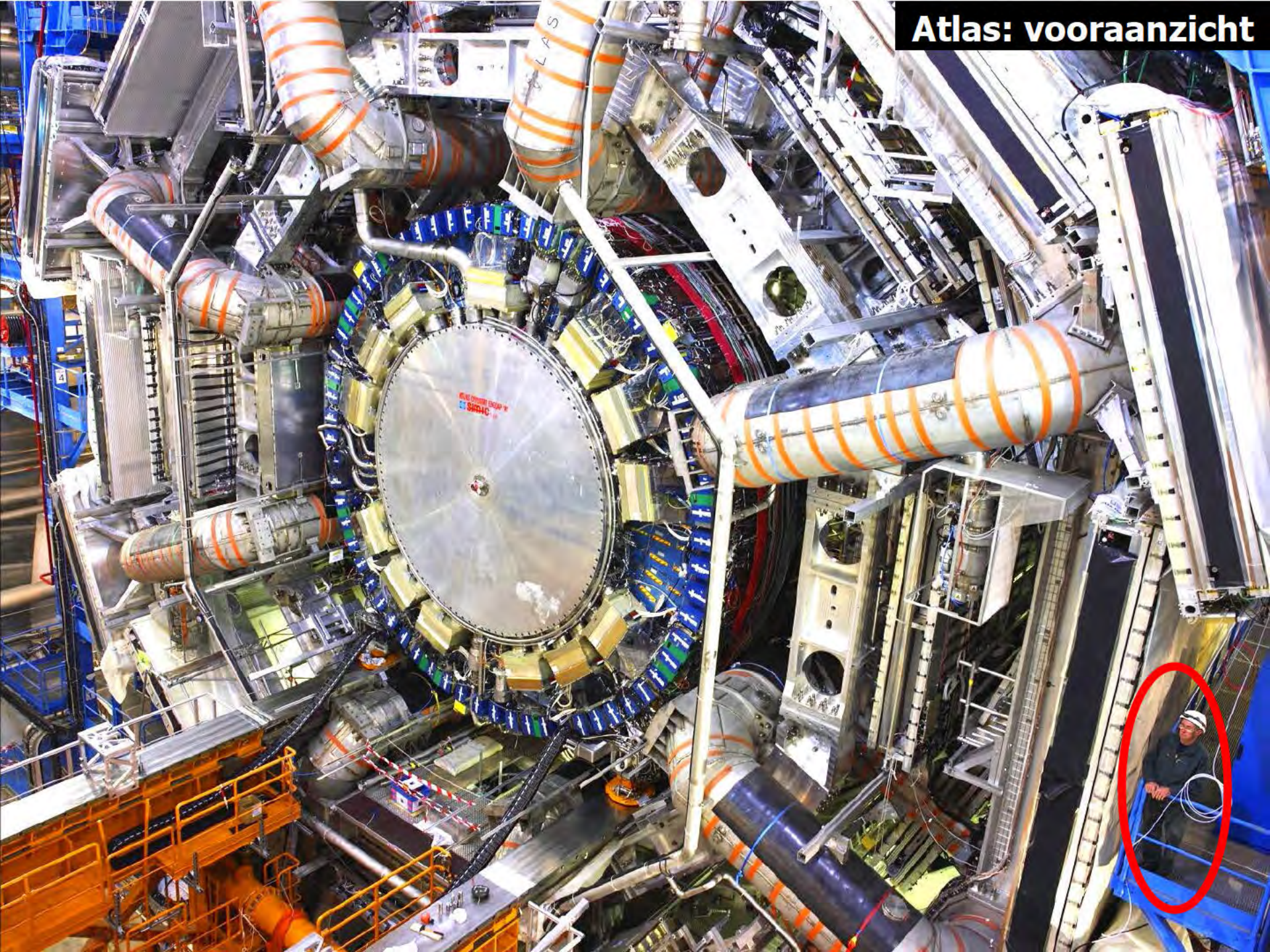
De Atlas muonen detector



Atlas: zijaanzicht



Atlas: vooraanzicht

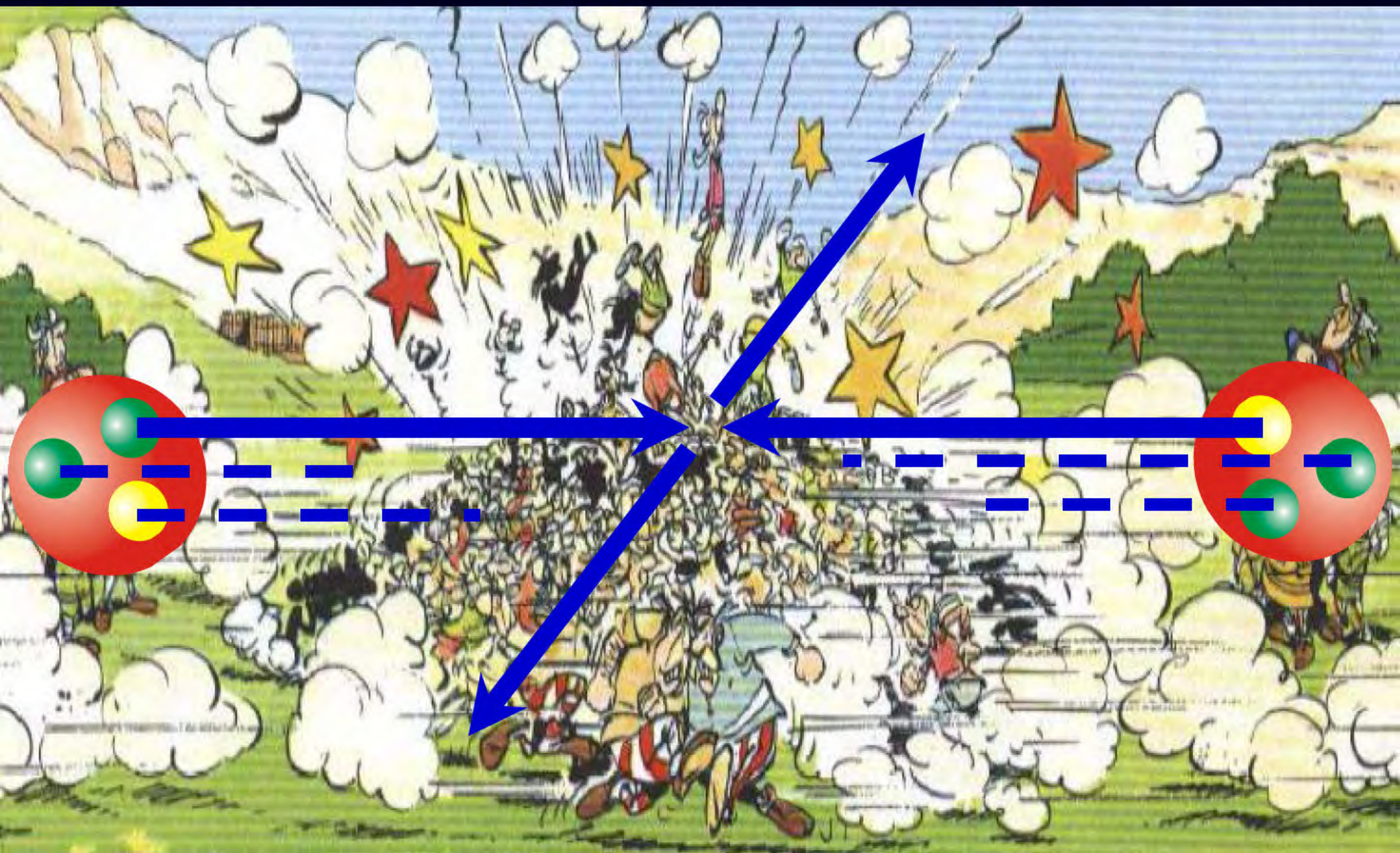


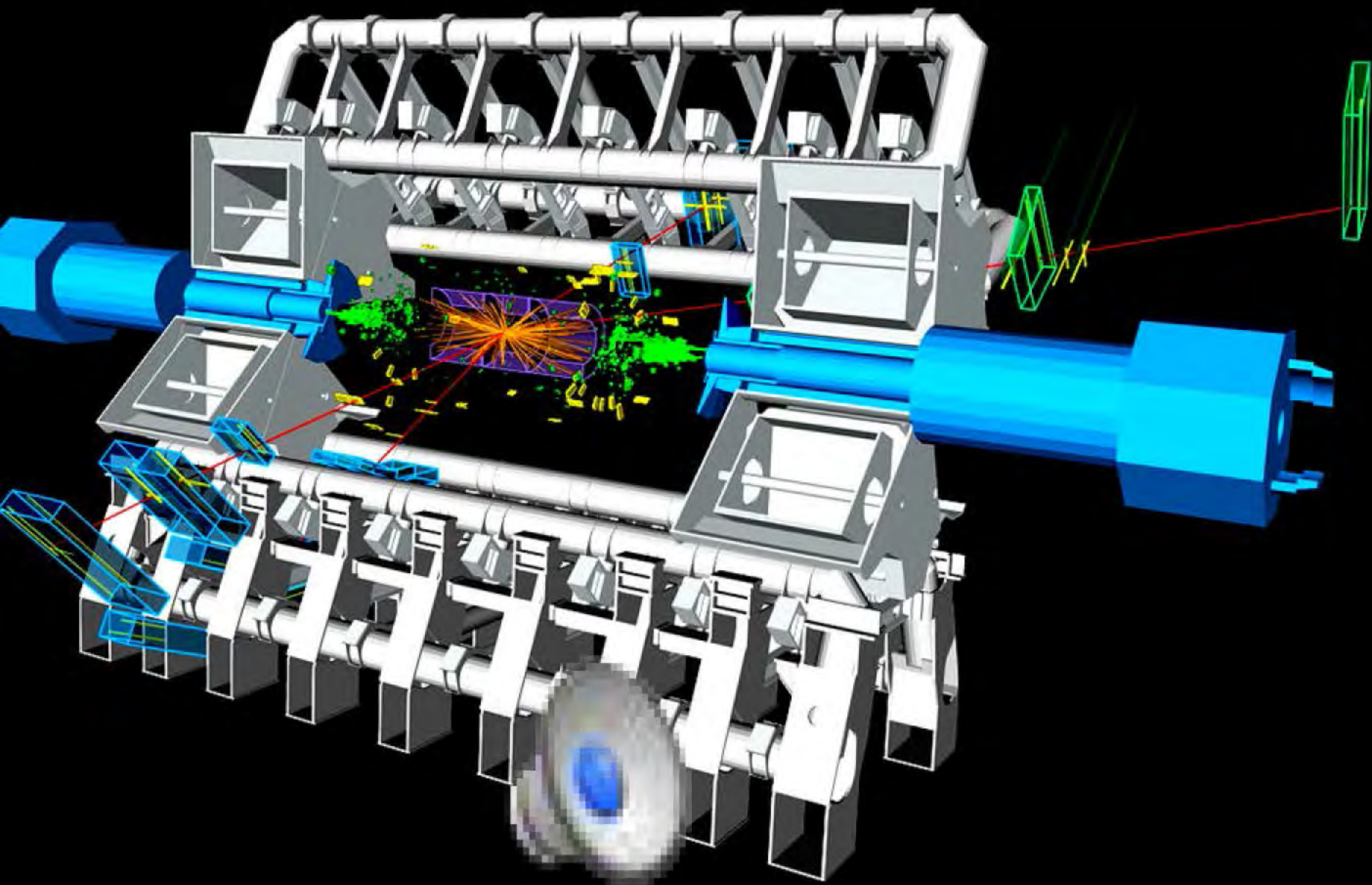


20 November 2009

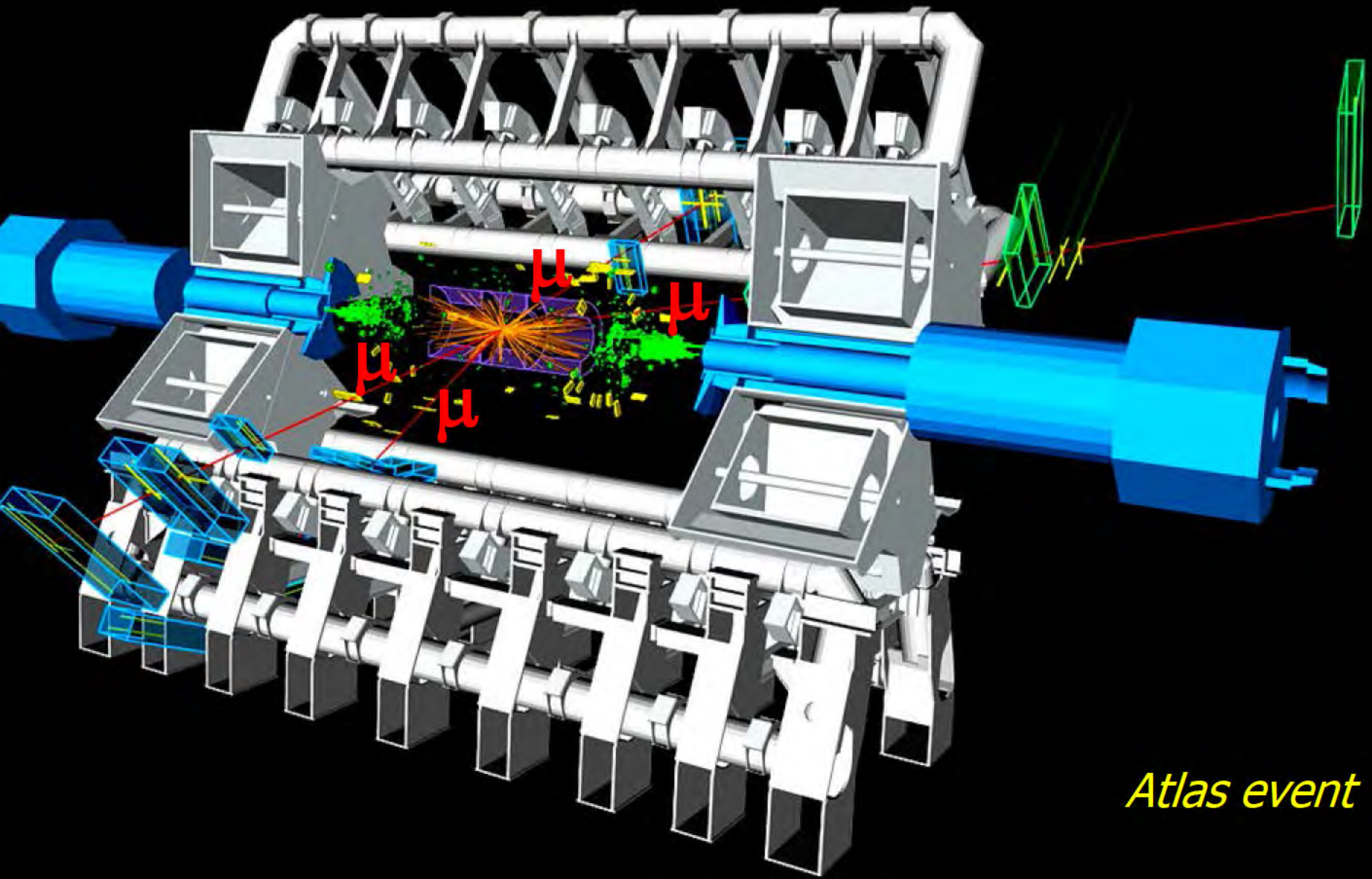


Alle mogelijke deeltjes ontstaan





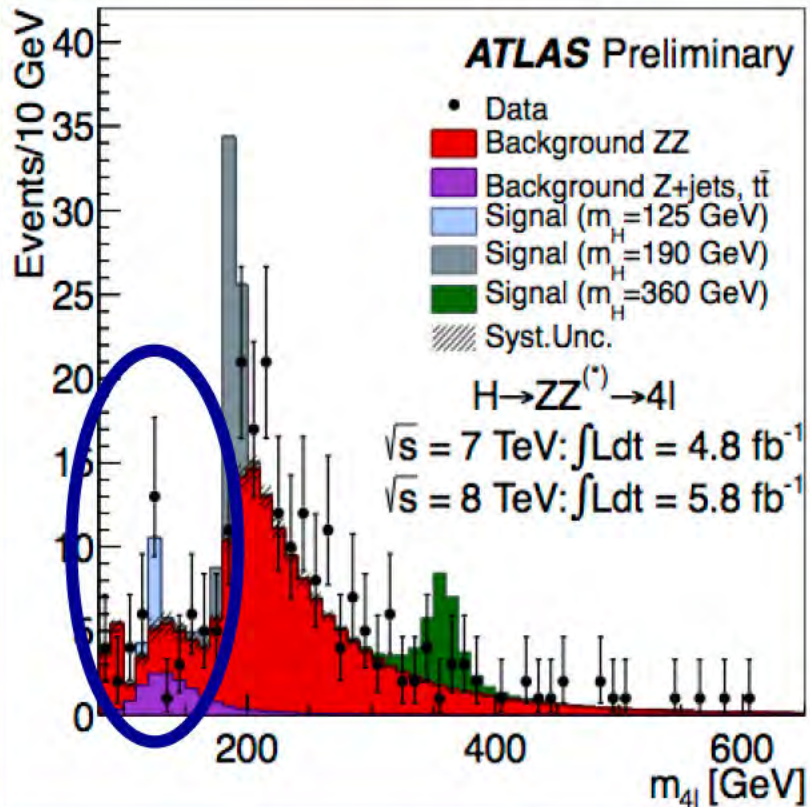
$pp \rightarrow Higgs \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu?$



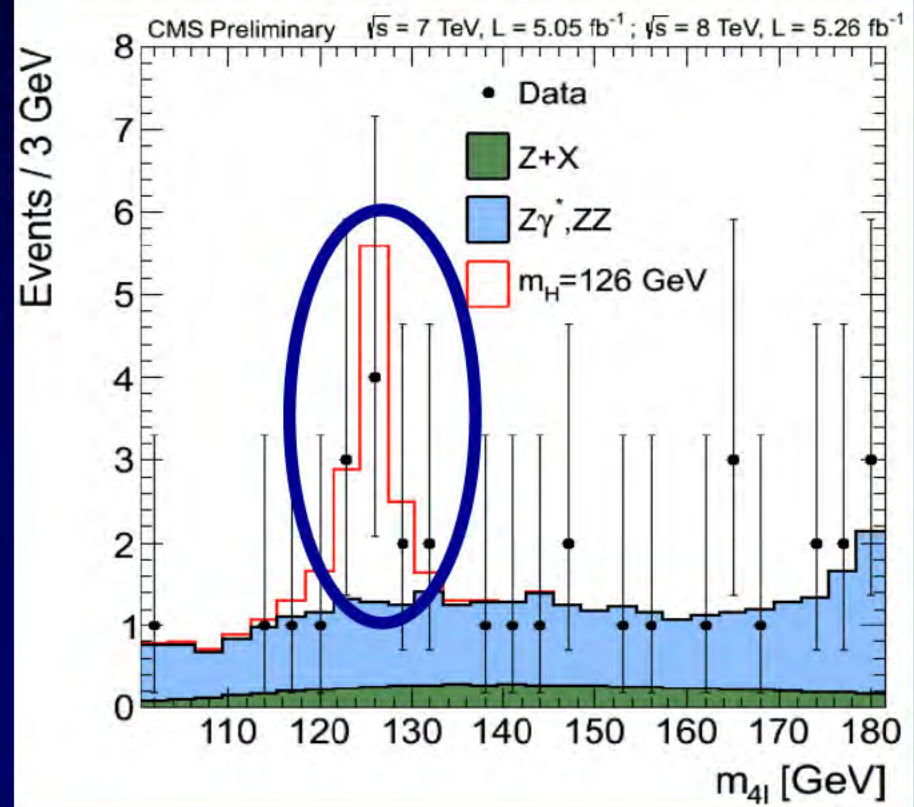
Atlas event

Higgs \rightarrow ZZ \rightarrow $\mu\mu\mu\mu$?

Atlas:

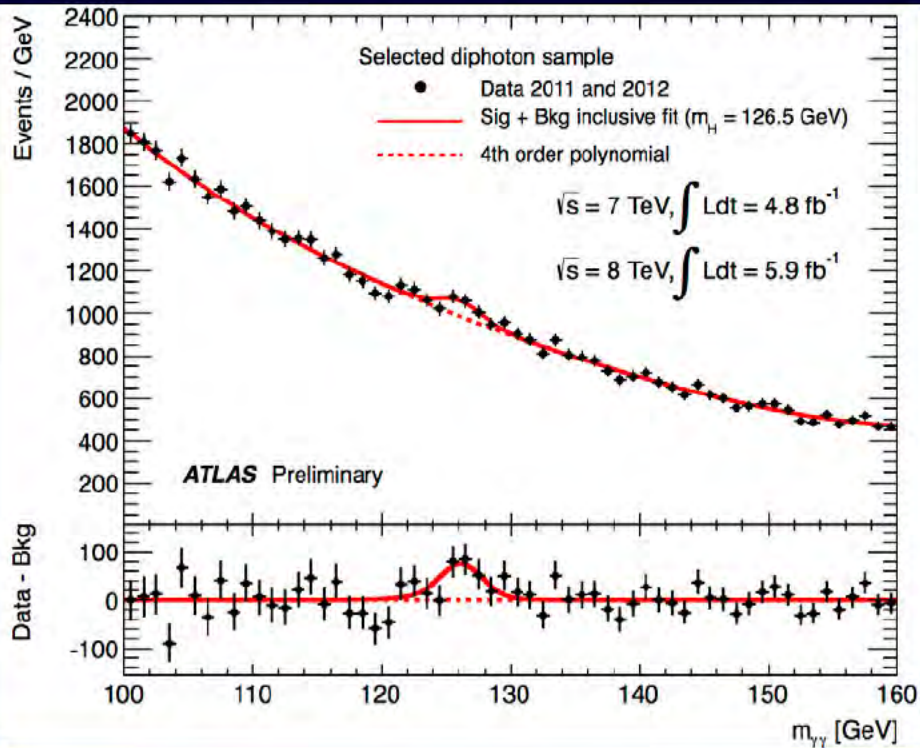


CMS:

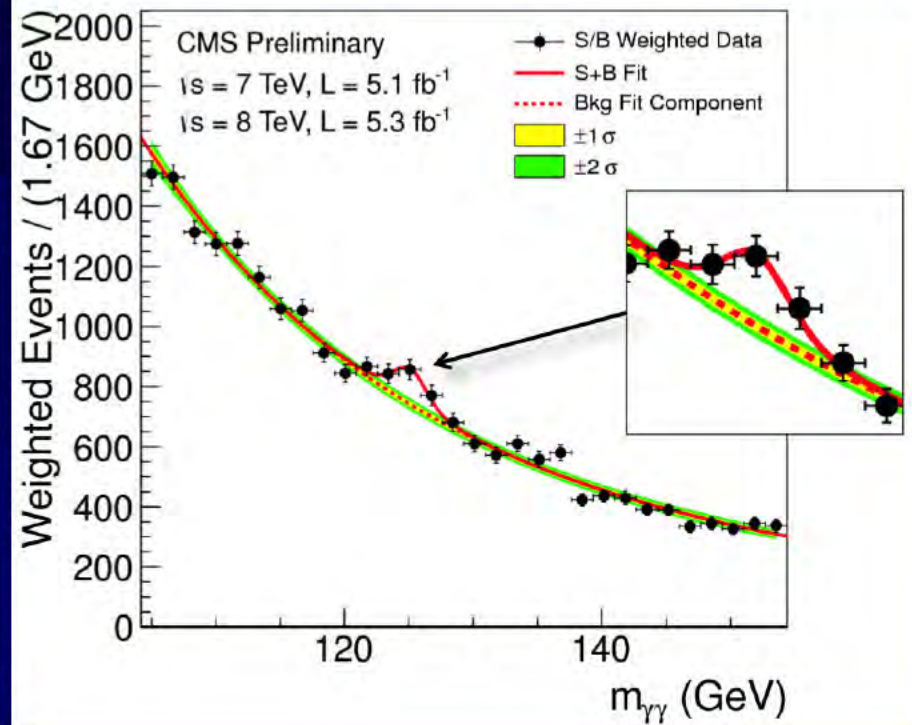


Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$?

Atlas:



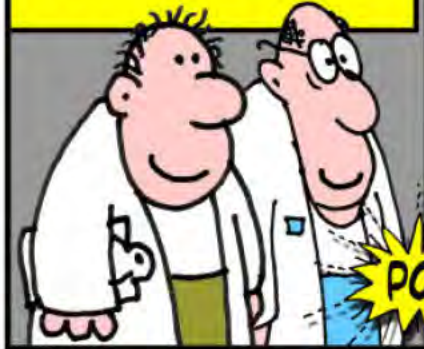
CMS:



Dry Bones

HIGGS BOSON

AFTER ALMOST FIFTY YEARS. SCIENTISTS FINALLY SEE THE "GOD PARTICLE"



CAGLE-CARTOONS.COM

WHICH VANISHES AFTER A FRACTION OF A SECOND!

WOW!



DAMN!!

YOU BLINKED?



DRYBONES.COM

YUP!



©12 Krocchen

CERN Auditorium 4 juli 2012



Nobel prijs in Natuurkunde 2013



Francois Englert

Peter Higgs

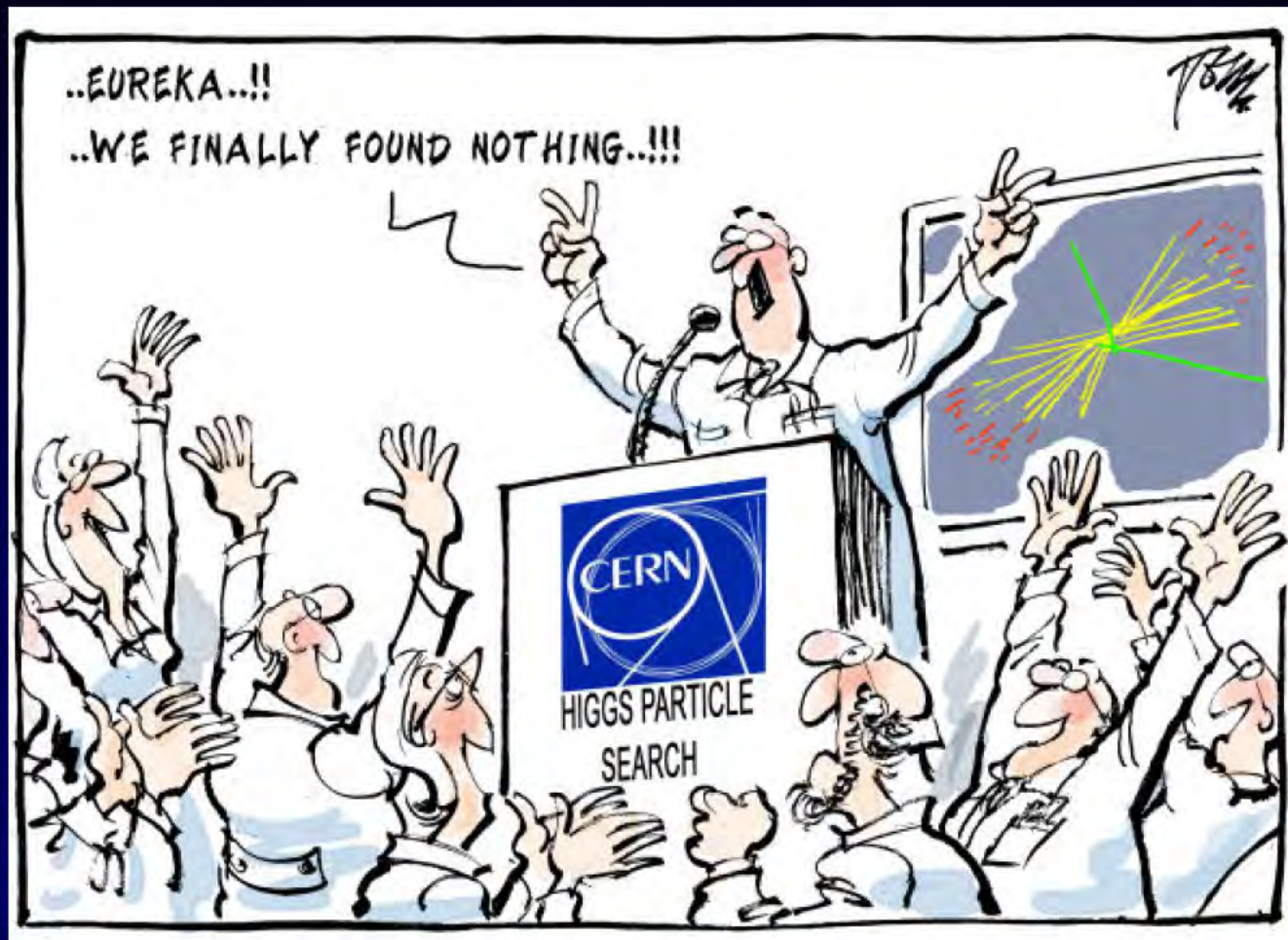
©2012
LOS ANGELES
TIMES
HORSEY

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

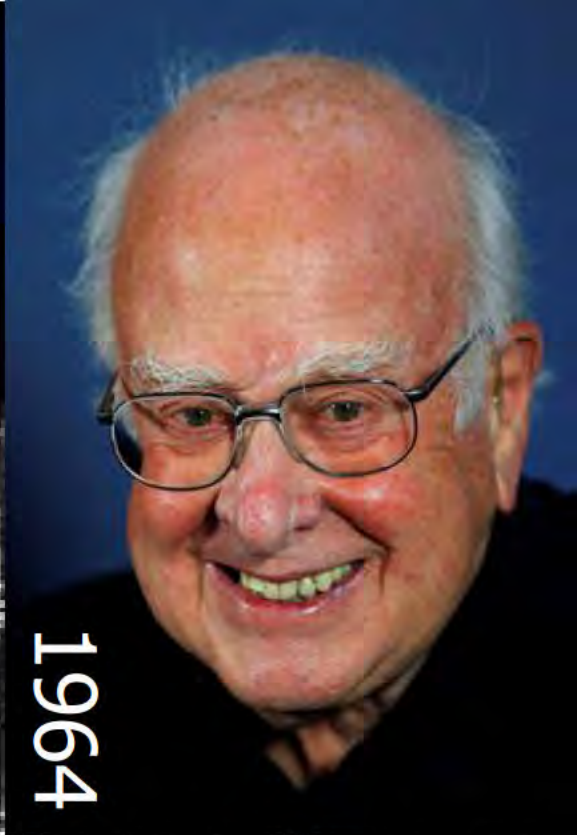
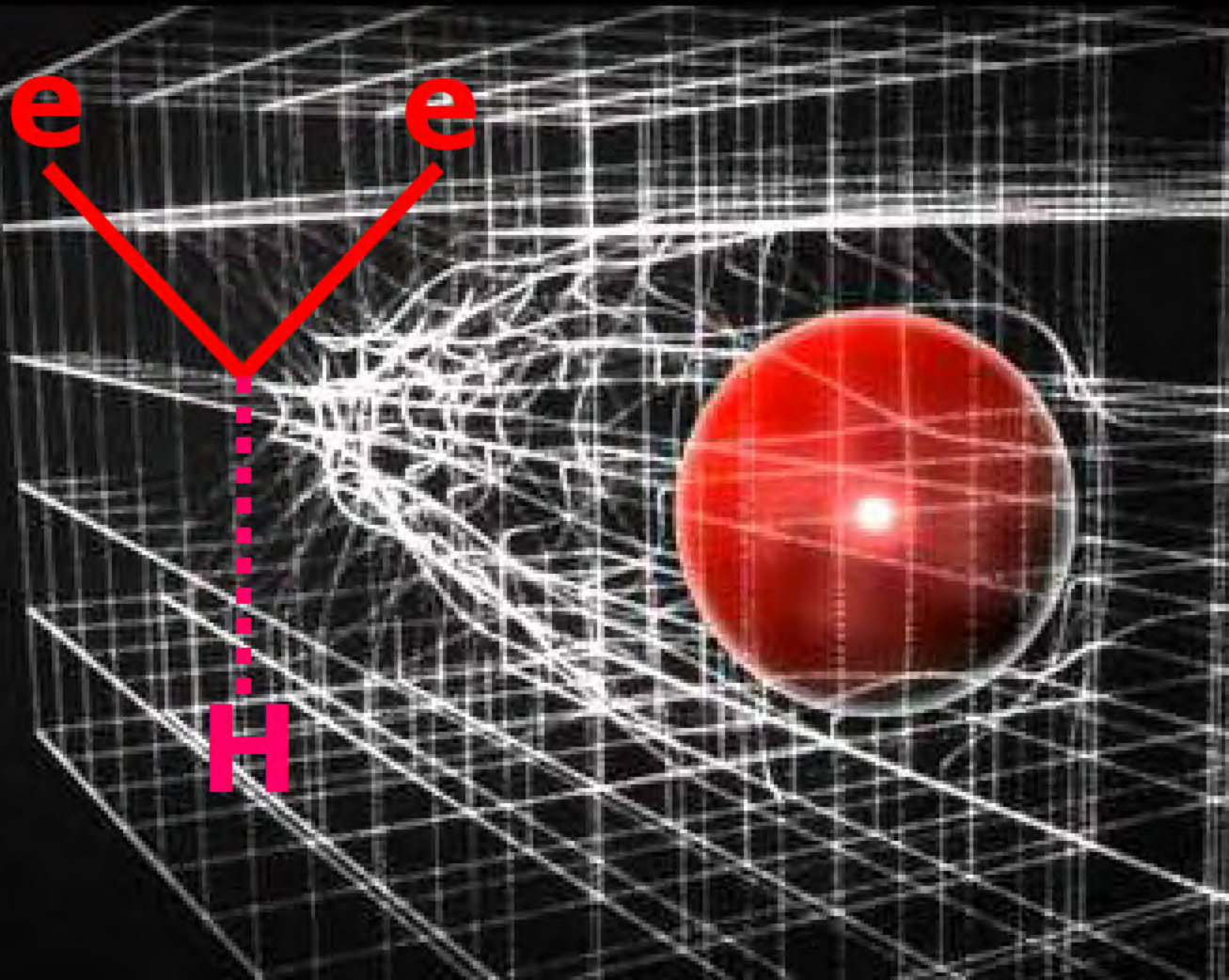
WE'RE
OUT OF
BEER.

PERSPECTIVE IS EVERYTHING.

Het Vacuum



Elektron in Higgs veld



1897



Elektron, e

Spin $\frac{1}{2}$
Lading -1
Lifetime ∞
Massa $.511$ MeV

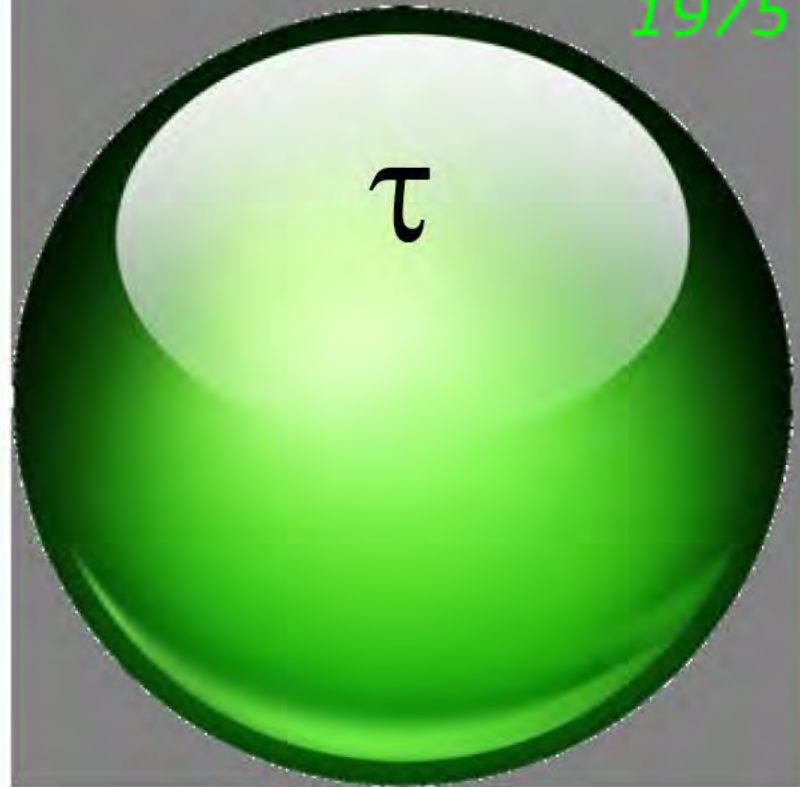
1936



Muon, μ

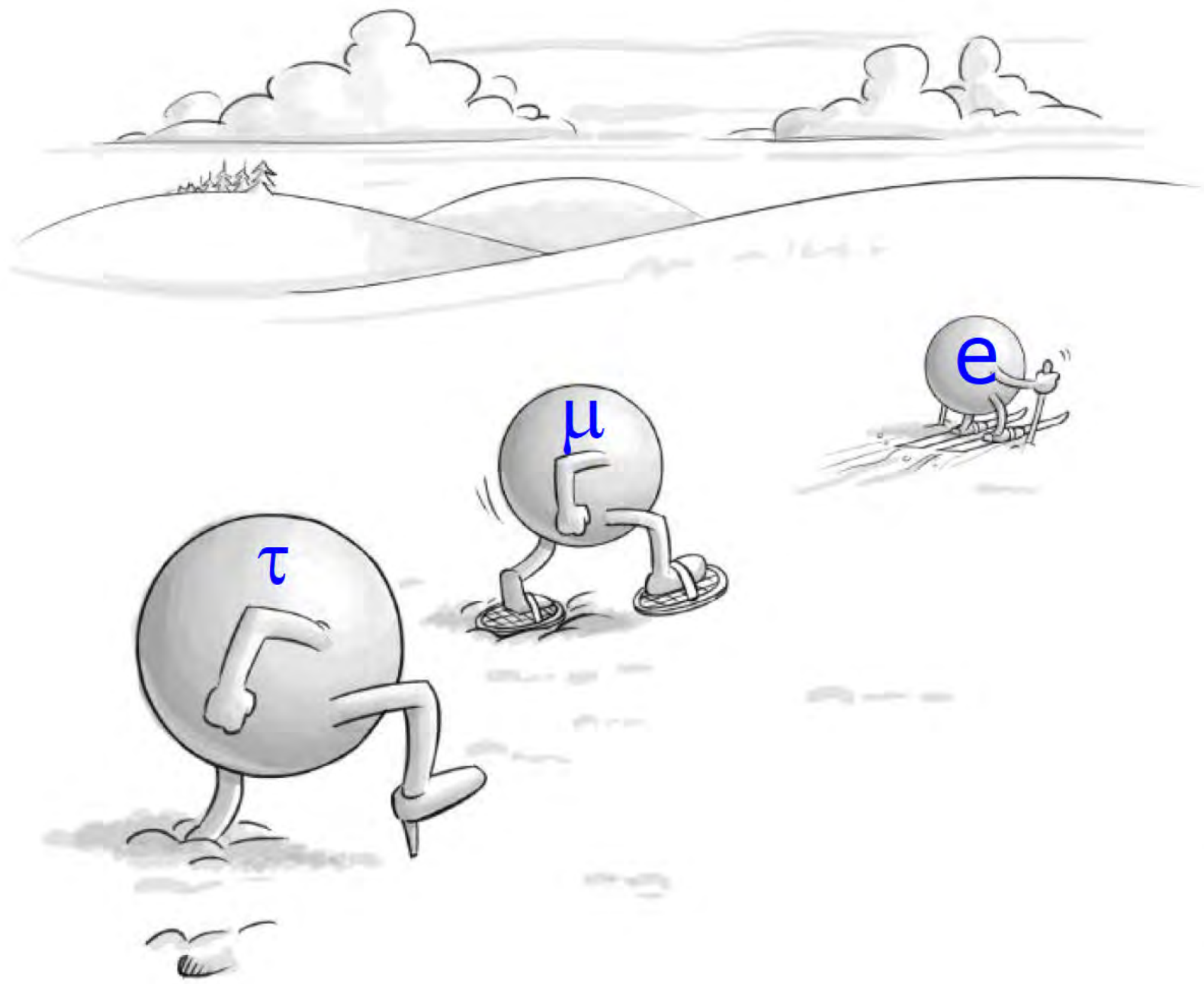
Spin $\frac{1}{2}$
Lading -1
Lifetime 2.2 μ s
Massa 106 MeV

1975



Tau, τ

Spin $\frac{1}{2}$
Lading -1
Lifetime 290 fs
Massa 1777 MeV



Dus...



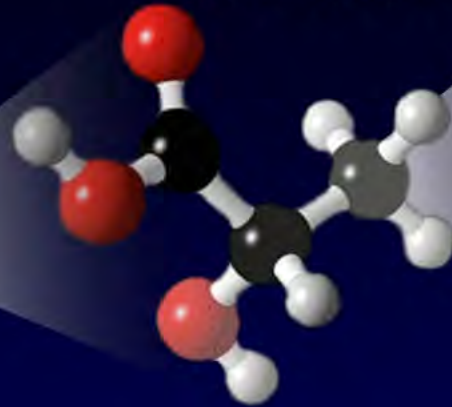


Verdwenen Antimaterie en de Higgs connectie: "3"

Een wereld van materie en ...



Molecuul



Atoom

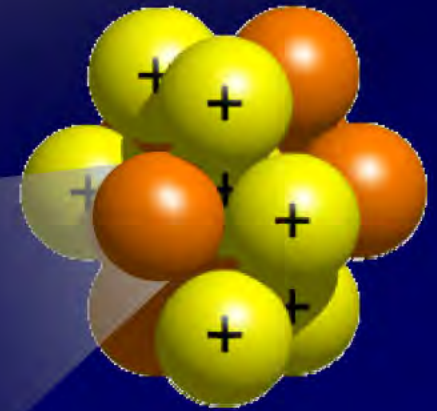
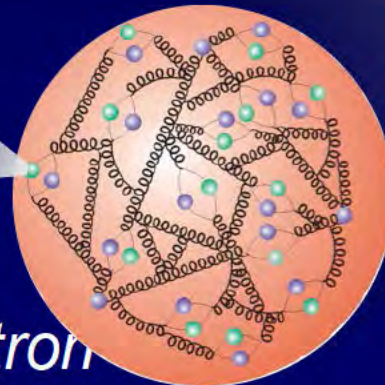


Elektron

'Quark'



Proton/Neutron

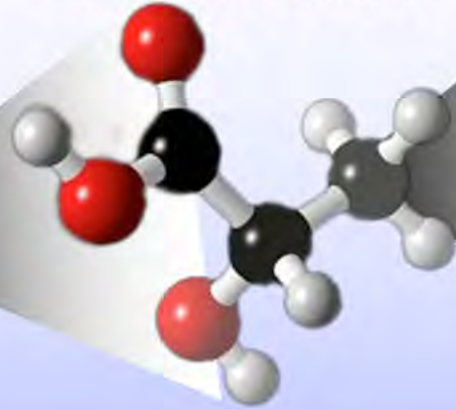


Atoomkern

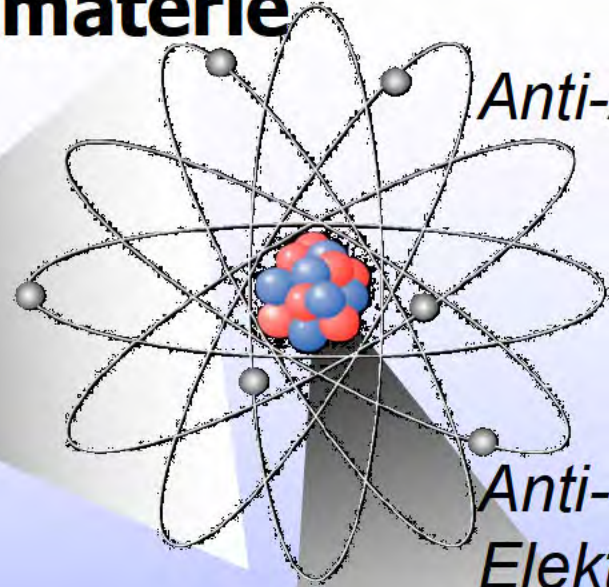
... een wereld van antimaterie



Anti-Molecuul

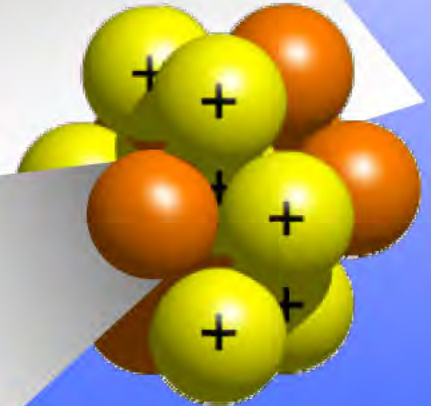


Anti-Atoom



Anti-Elektron

Anti-Quark



Anti-Atoomkern

Identieke anti-wereld?

Anti-Proton/anti-Neutron

Het vroege hete heelal

Tijd=0.000000000001 seconde

Stel:

● *materie:*

10000000001

● *anti-materie:*

10000000000

● licht

Is er verschil in natuurwetten
tussen materie en antimaterie?

Dus: "ietsiepietsie" meer materie deeltjes
dan anti-materie deeltjes

Het Standaard Model

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



Kracht-velden

$$+ i\bar{\psi} \not{D} \psi$$



Koppeling van kracht aan materie-deeltjes

Quarks

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

Ja!

$$+ \psi_i \gamma_{ij} \psi_j \phi$$

Forces

Z Z boson	γ photon
W W boson	g gluon

Koppeling van Higgs aan materie-deeltjes

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

Leptons

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



Higgs veld

Materie vs Antimaterie

Makoto Kobayashi

Toshihide Maskawa

3 generaties!



Nobelprijs 2008



Quarks



Leptons

Forces



- 1972: Theorie: met **3 generaties** deeltjes is er verschil in krachten tussen materie en antimaterie mogelijk.
 - Dit wordt veroorzaakt door het Higgs veld!

CERN 1993: Er zijn precies 3 generaties!

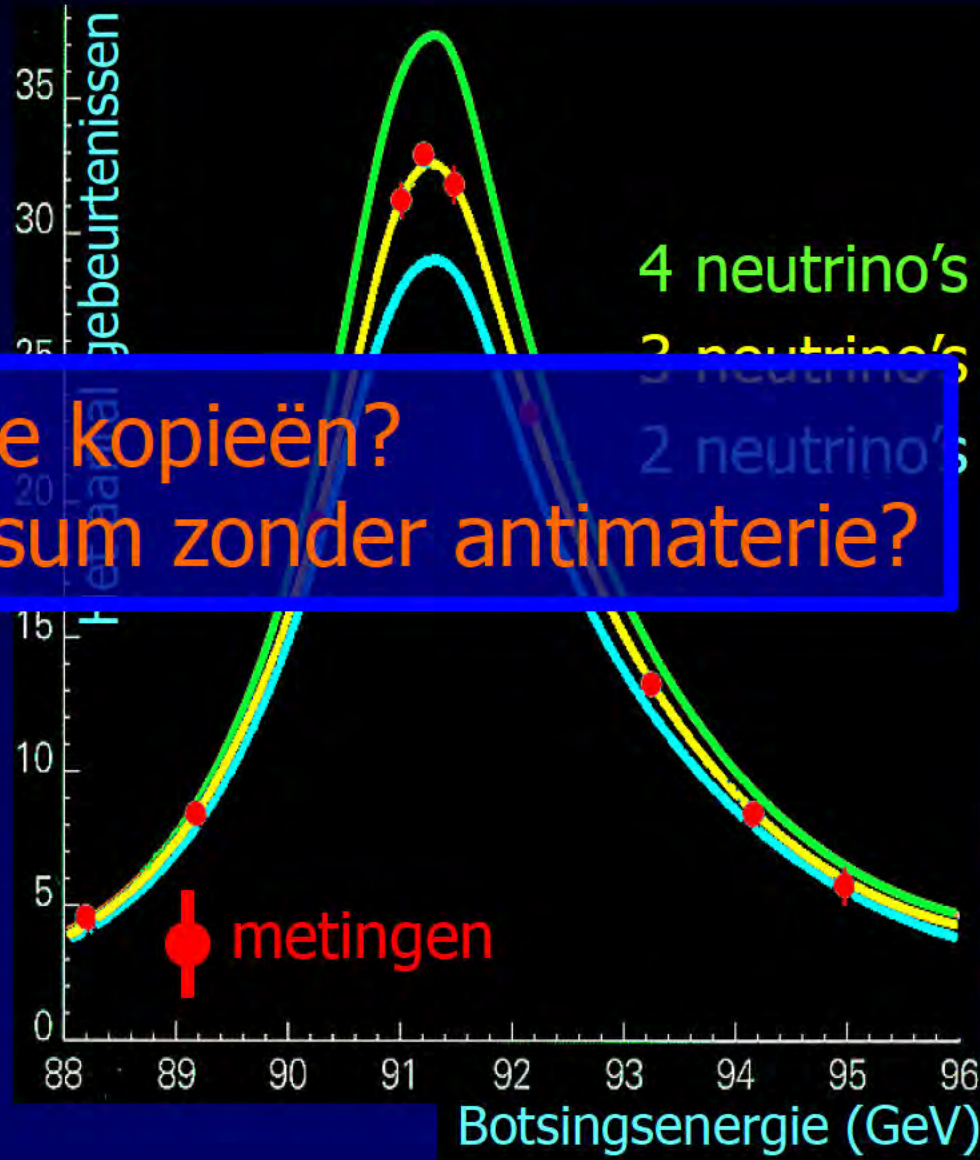
Generatie:

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

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

Materie

Waarom bestaan er drie kopieën?
 → Eenvoudigste universum zonder antimaterie?



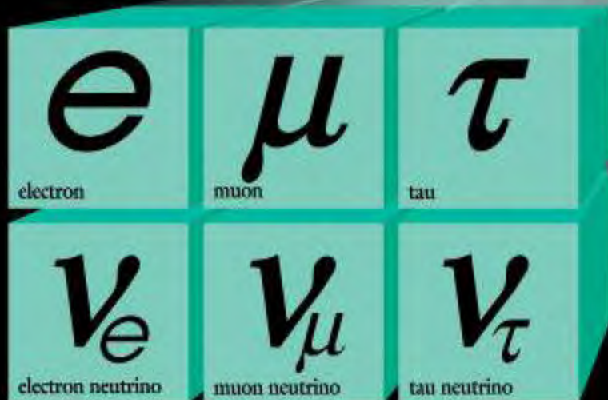
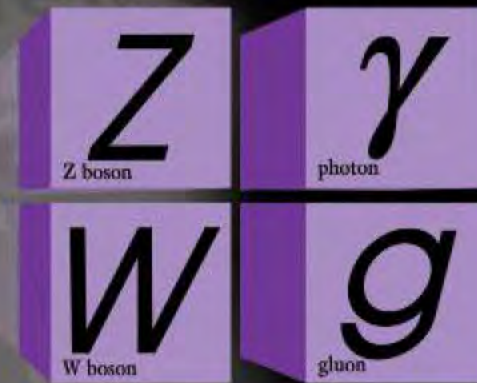
Test van het Standaard Model

Quarks



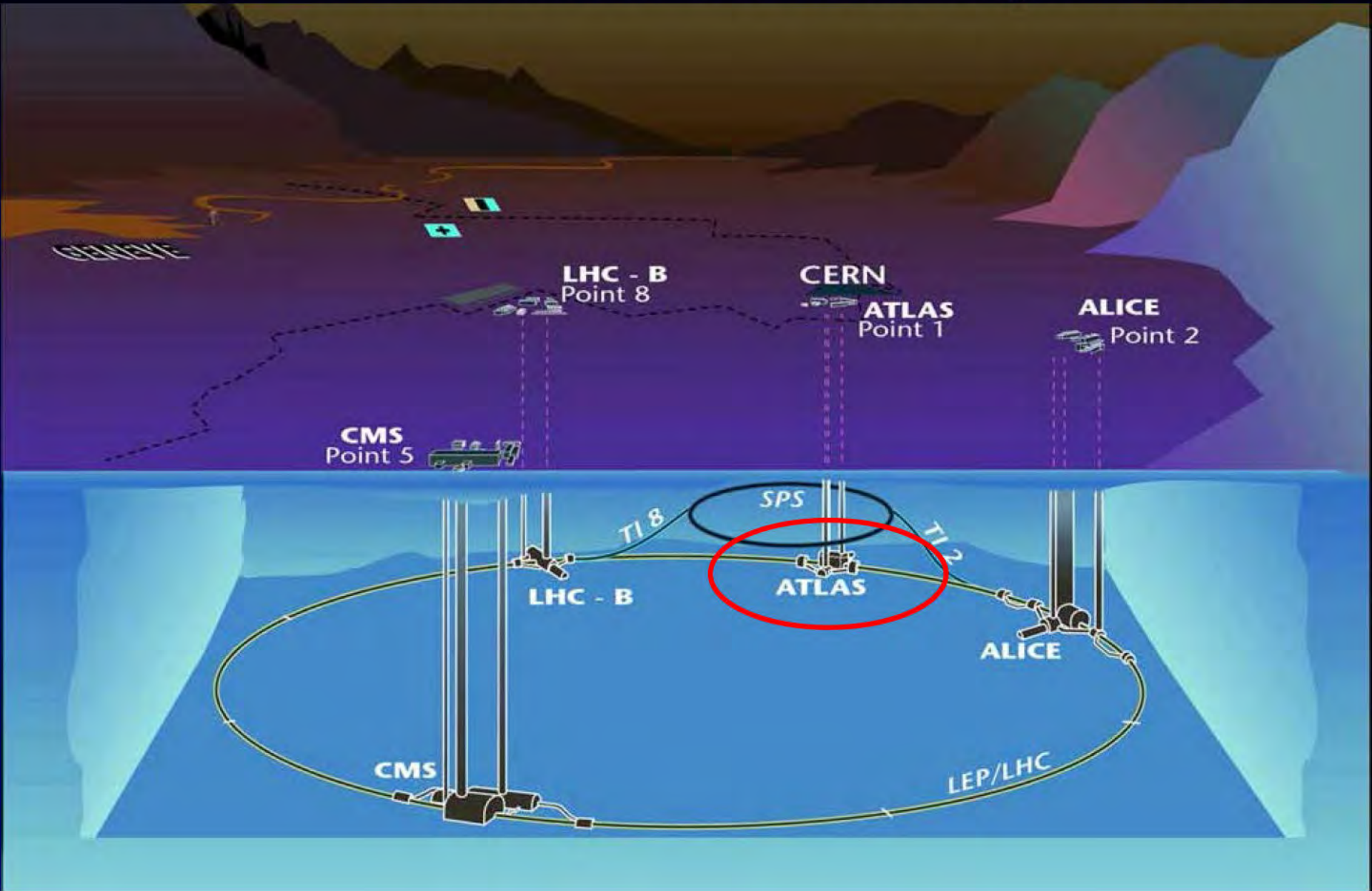
- B-mesonen:
deeltjes met een b-quark

Forces

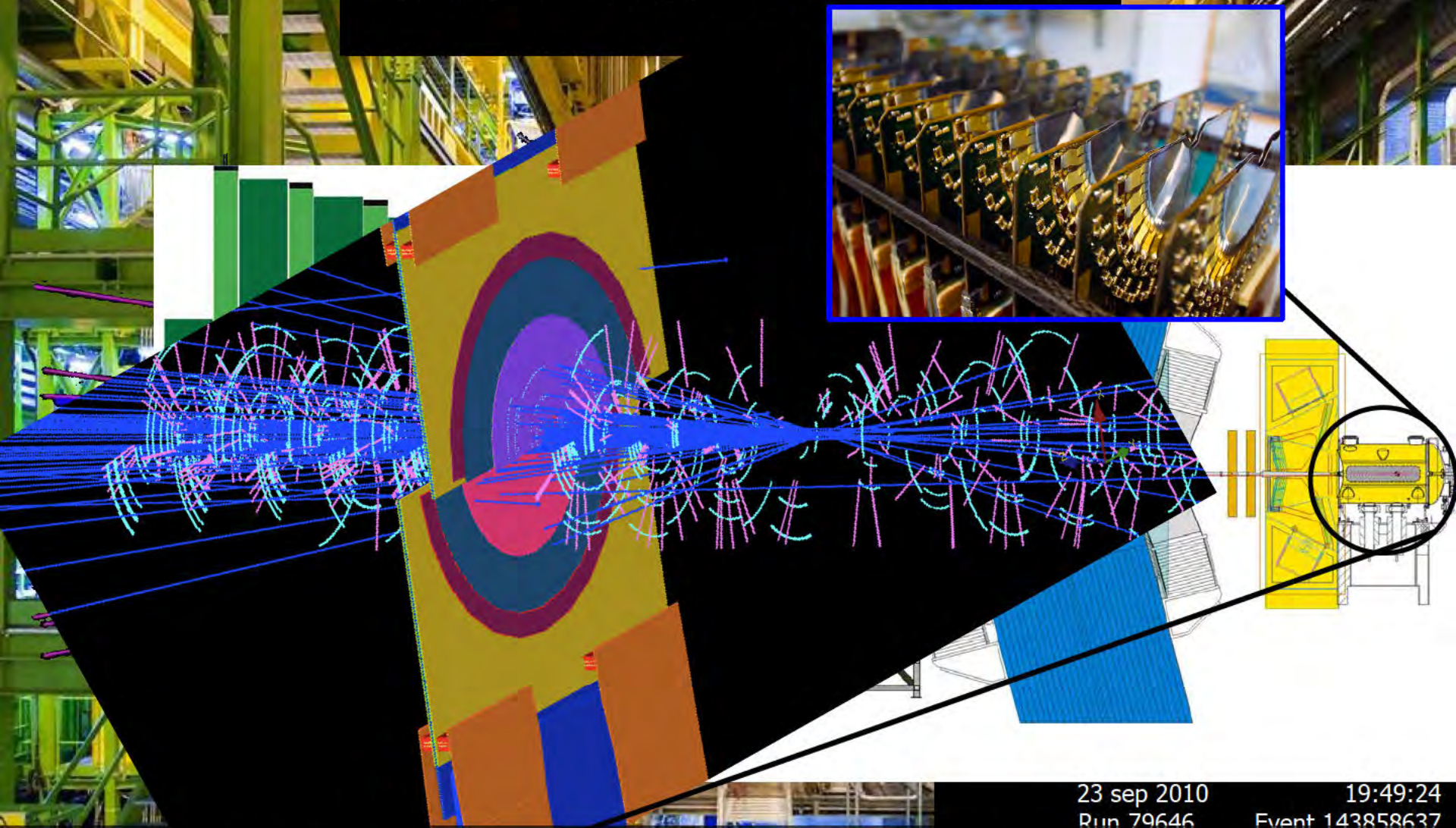


Leptons

LHC: Van Atlas naar het LHCb experiment



The LHC Detector



23 sep 2010
Run 79646

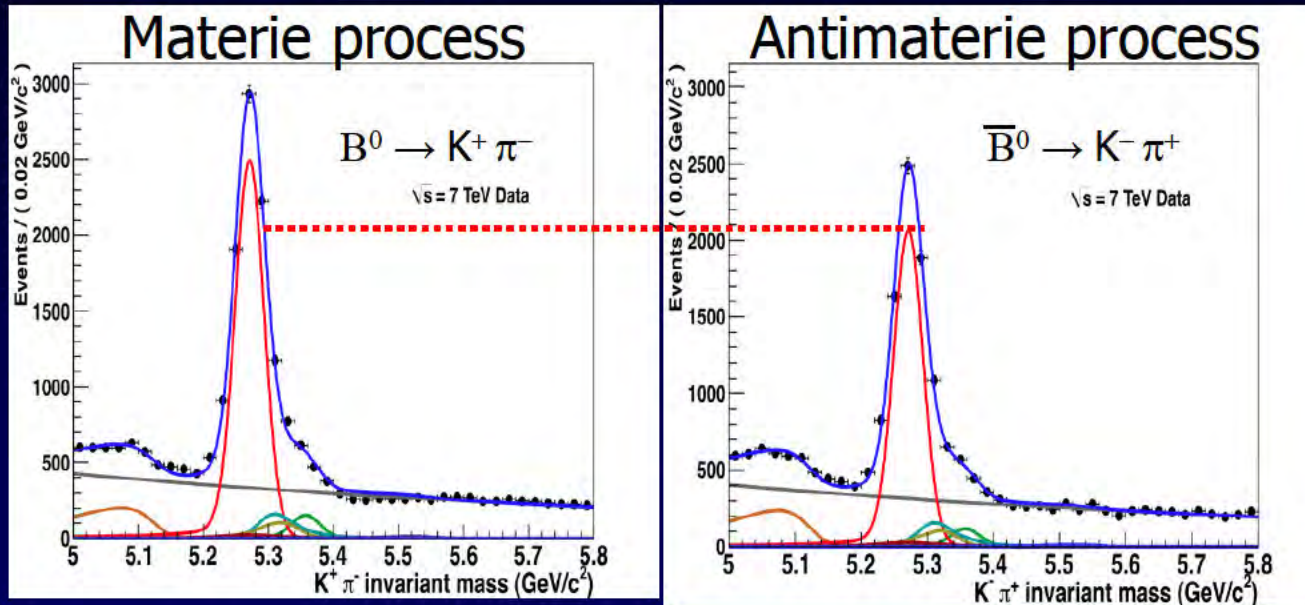
19:49:24
Event 143858637

**Vergelijk miljoenen materie en antimaterie deeltjes vervallen...
...en zoek naar verschillen tussen materie en antimaterie!**

B-deeltjes: verschil tussen materie en antimaterie

B deeltje vervalst naar
een K^+ en π^- deeltje

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

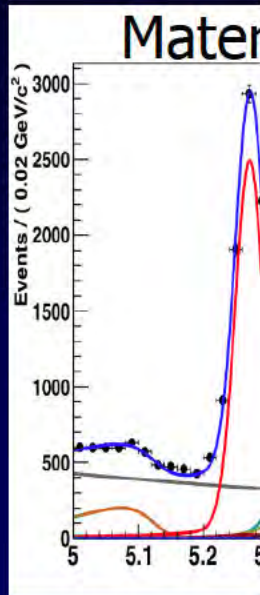


- Maar links en rechts niet even snel!
- Dit gebeurt alleen bij zeldzame vervallen waarbij deeltjes van *1e, 2e en 3e* generatie betrokken zijn.
- Dit gaat precies zoals verwacht volgens de Higgs "kracht"!

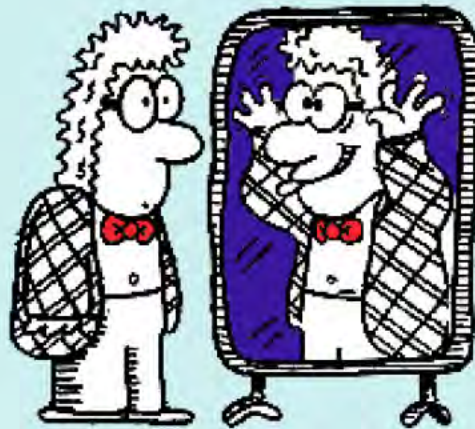
B-deeltjes: verschil tussen materie en antimaterie

B deeltje vervalst naar
een K^+ en π^-

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



THE MIRROR DID NOT SEEM TO BE OPERATING PROPERLY.

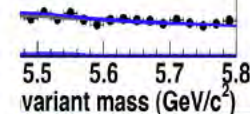


antimaterie

process

→ $K^- \pi^+$

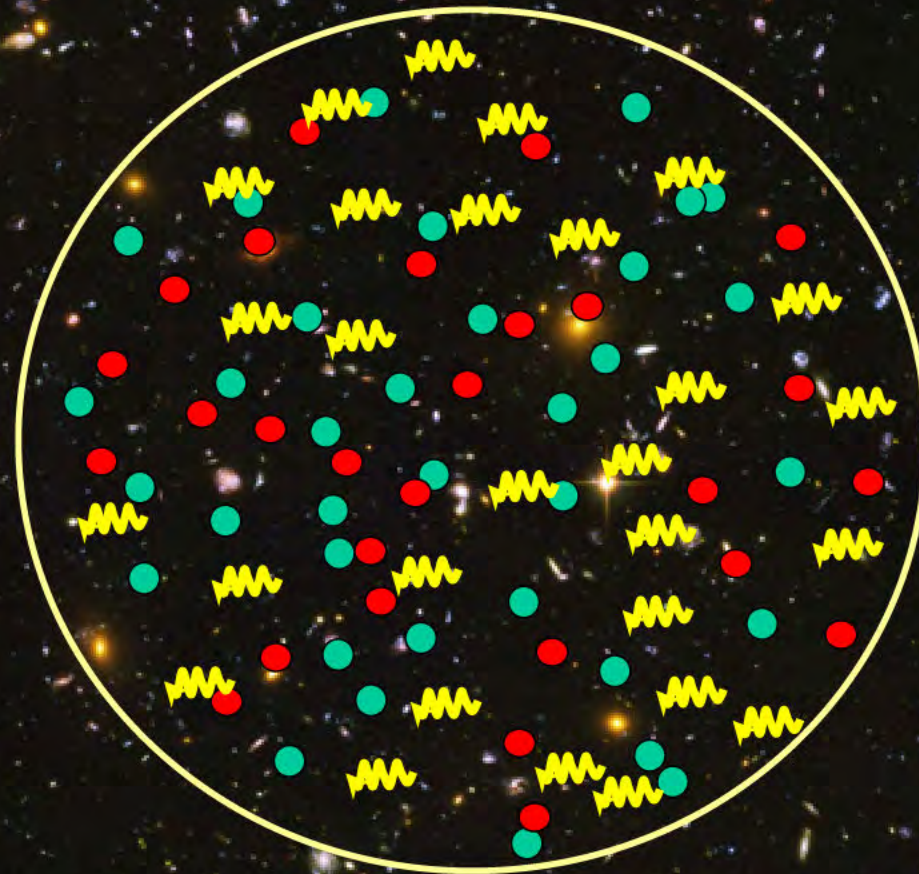
$\sqrt{s} = 7$ TeV Data



- De natuurwetten voor materie en antimaterie blijken duidelijk niet 100% spiegel-symmetrisch !

Het vroege hete heelal

Tijd=0.000000000001 seconde



Stel:

● *materie:*

1000000001

● *anti-materie:*

1000000000

⚡ licht

Dus: "ietsiepietsie" meer **materie** deeltjes
dan **anti-materie** deeltjes

Zijn we nu klaar?



Het vroege hete heelal

Tijd=0.000000000001 seconde

Het Standaardmodel
verklaring komt te
kort. Er is meer nodig
dan een Higgs
deeltje!

Stel:

● *materie:*

1000000001

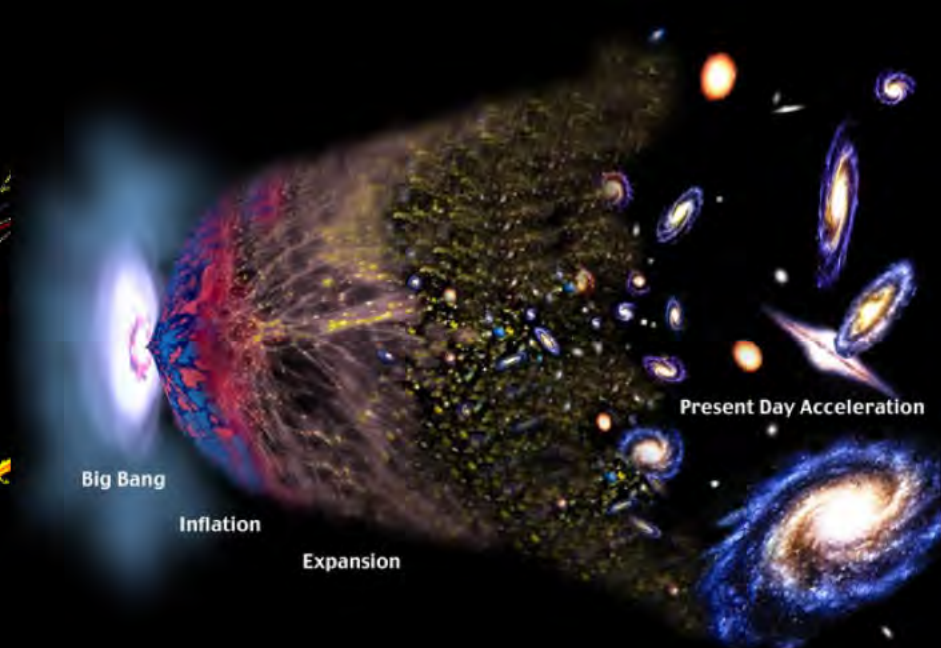
● *anti-materie:*

1000000000

⚡ licht

Dus: "ietsiepietsie" meer **materie deeltjes**
dan **anti-materie deeltjes**





Open vragen: speuren naar nieuwe deeltjes en krachten in Oerknal

De Big Bang

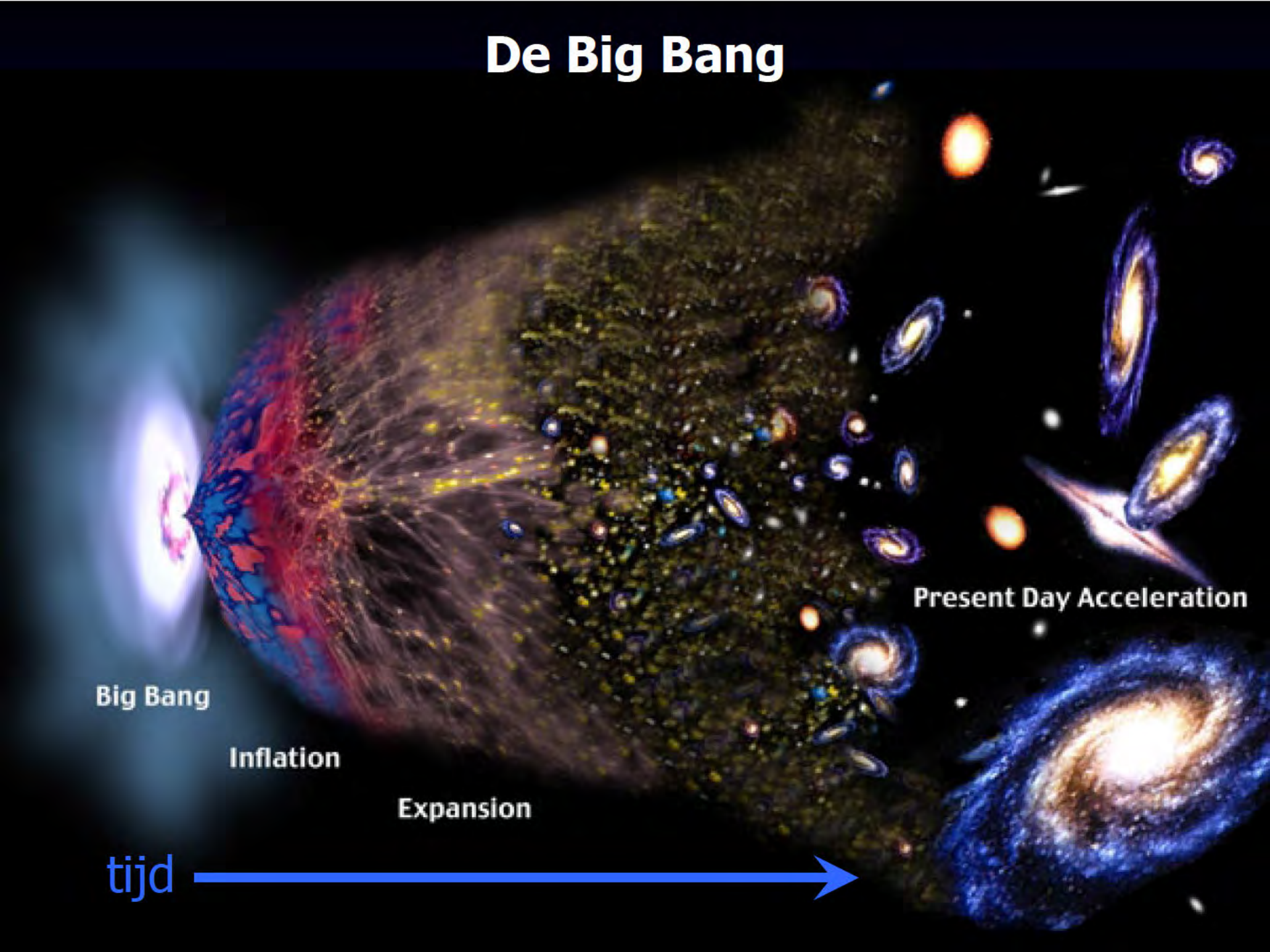
Big Bang

Inflation

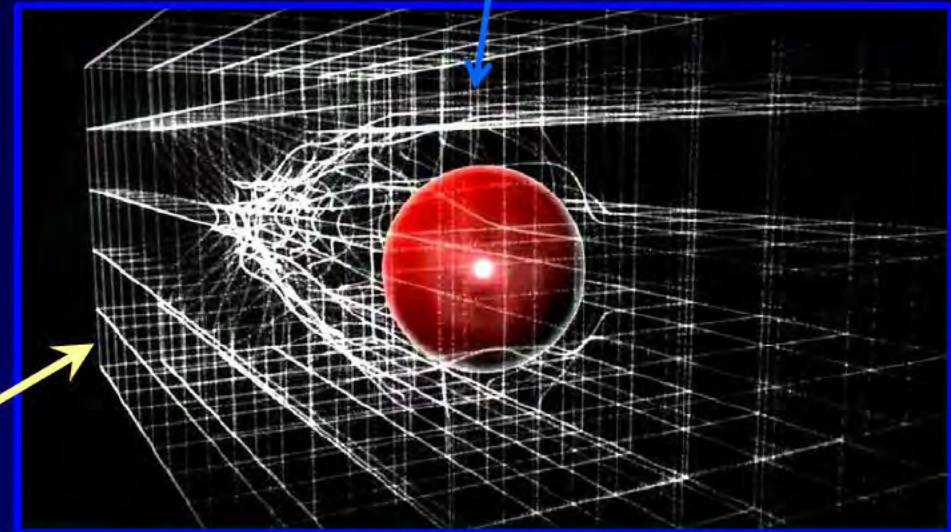
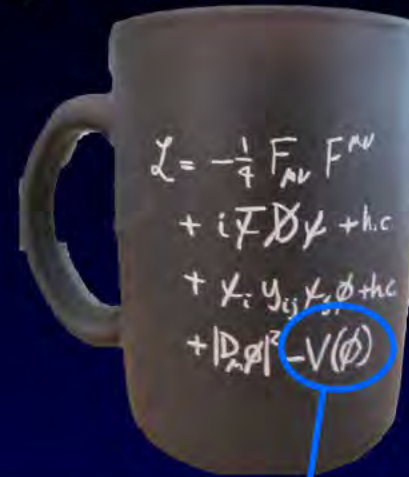
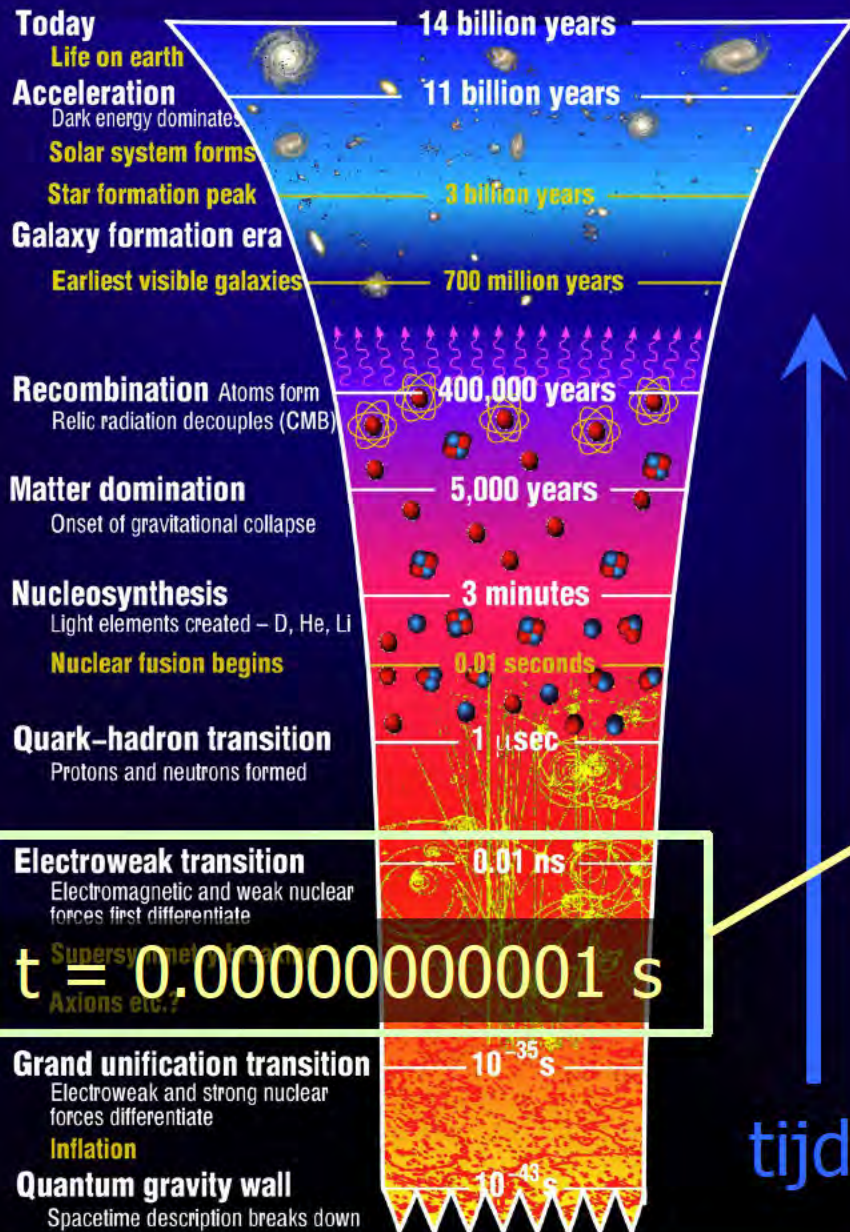
Expansion

Present Day Acceleration

tijd



Higgs veld is ontstaan tijdens Big Bang

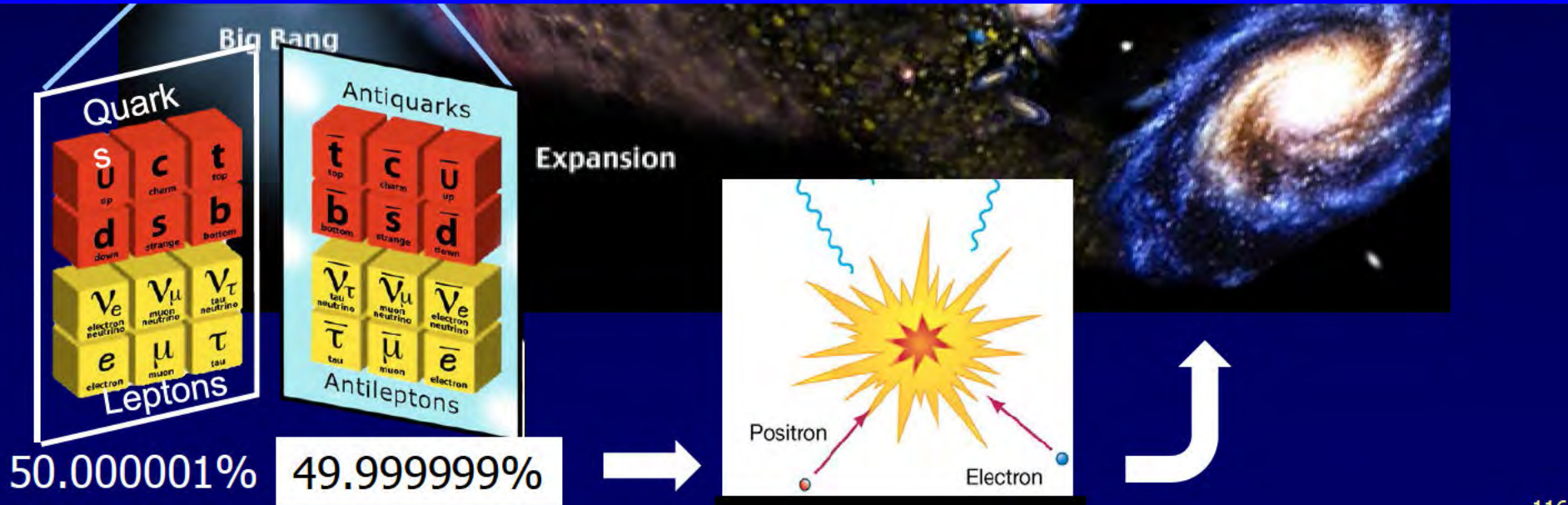


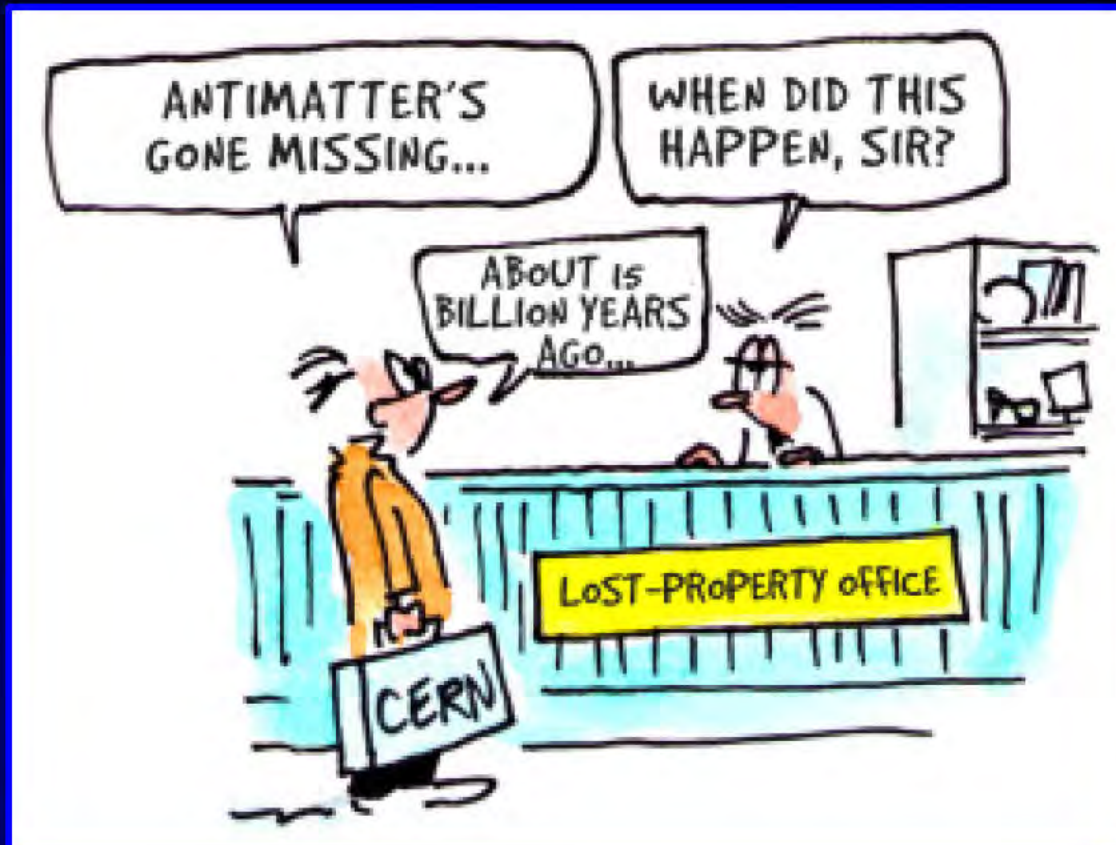
Higgs veld:

- Er ontstond plots massa
- Antimaterie verdween?!

1) Hoe is anti-materie verdwenen in de Big Bang?

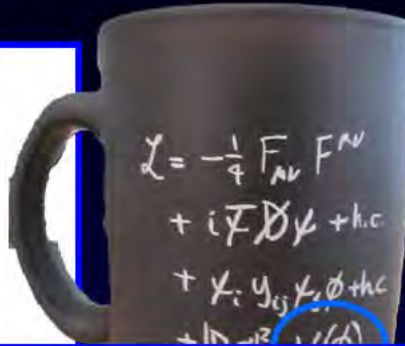
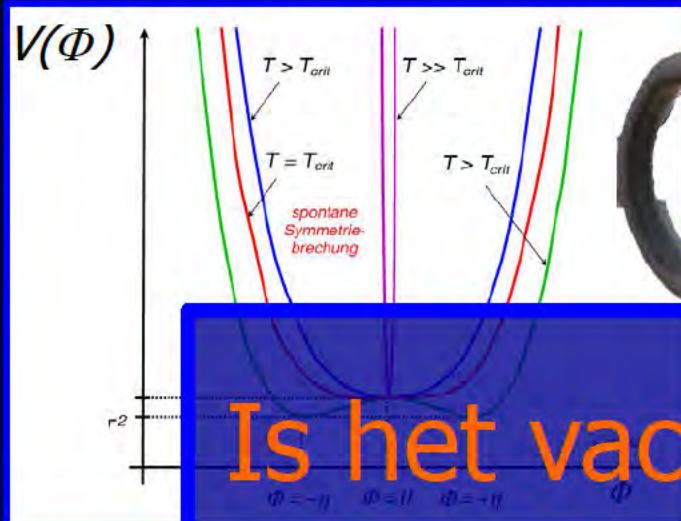
Standaardmodel verklaring niet genoeg



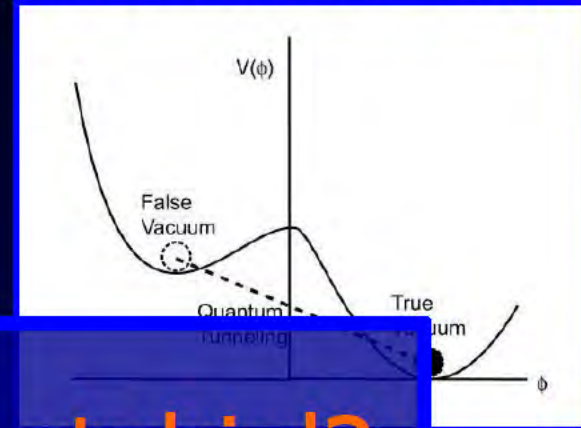


2) Higgs mysterie: Vacuum stabiliteit

Higgs Potentiaal



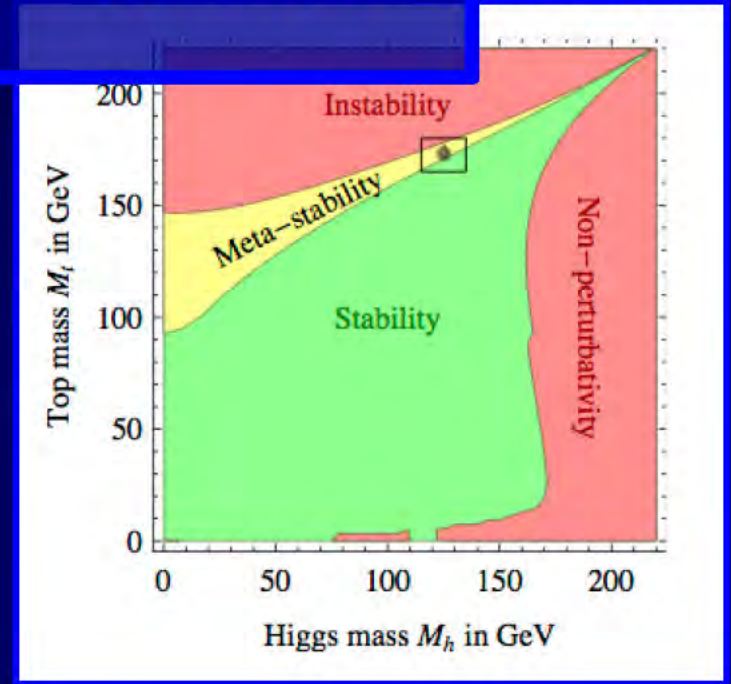
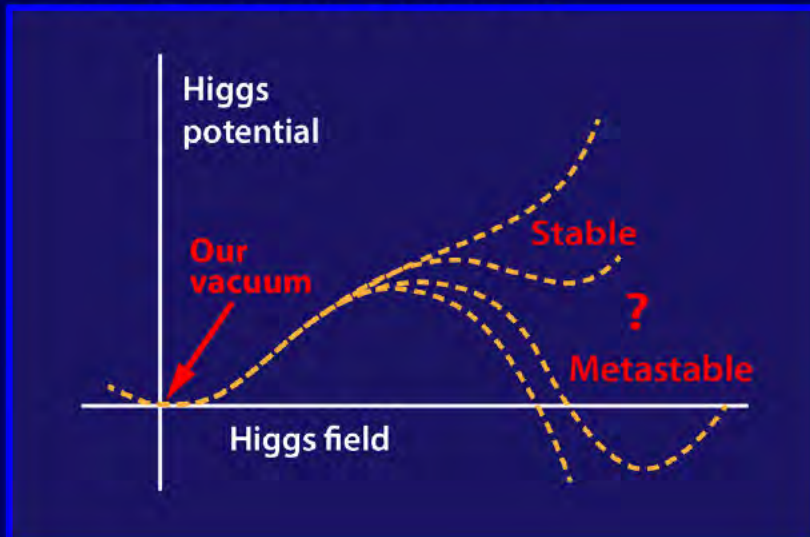
Kan het vacuum "wegtunnelen"?



Is het vacuum wel stabiel?

Ons heelal in Standardmodel:

Heel ver uitzoomen:

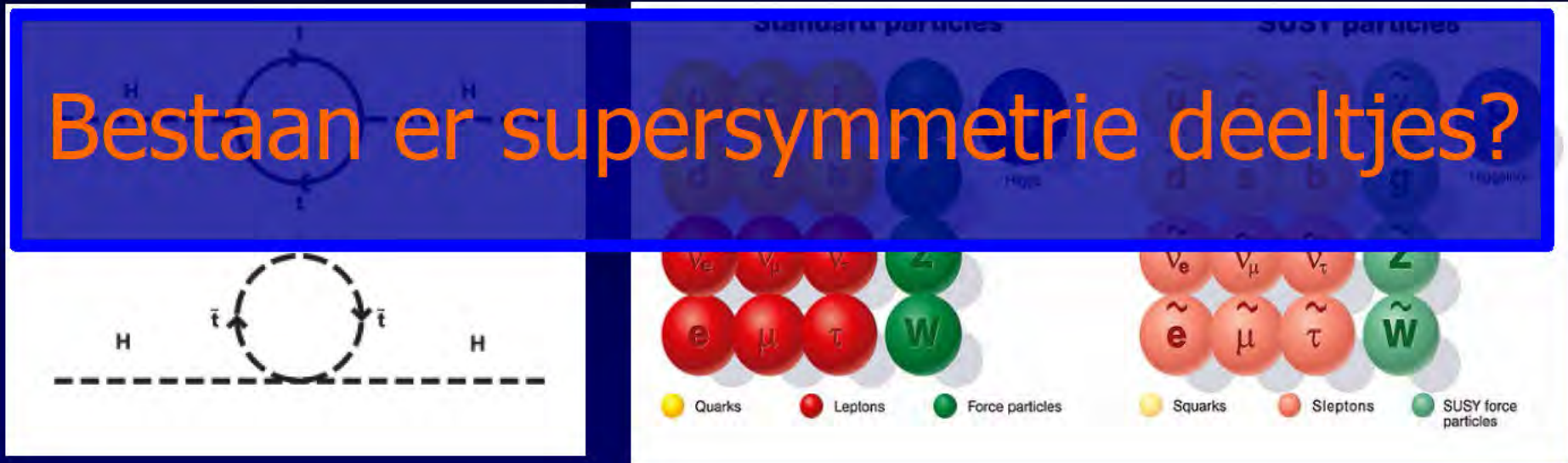


3) Waarom is de Higgs massa zo licht?

Higgs geeft quantum mechanisch massa aan:

- Materie deeltjes
- Zichzelf!

Bestaan er supersymmetrie deeltjes?



Supersymmetrische deeltjes zouden lage Higgs massa verklaren

4) Het Donkere Materie raadsel



4) Het Donkere Materie raadsel



4) Het Donkere Materie Raadsel

Draaien van de melkweg

Centrifugale kracht:

$$F_c = Mv^2/r$$

Gravitatie kracht

$$F_G = GMm/r^2$$

$F_c = F_G$ geeft:

$$v = \sqrt{GM/r}$$

Waaruit bestaat donkere materie?

Groot mysterie: 75% van alle massa is onzichtbaar!
→ "Donkere Materie"



“zwaartekracht lenzen”

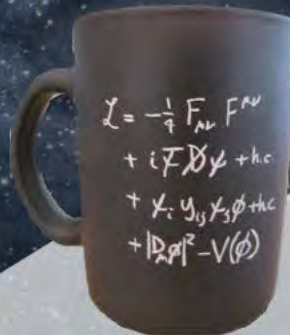


Een botsing van galaxies gezien met "zwaartekracht lenzen"

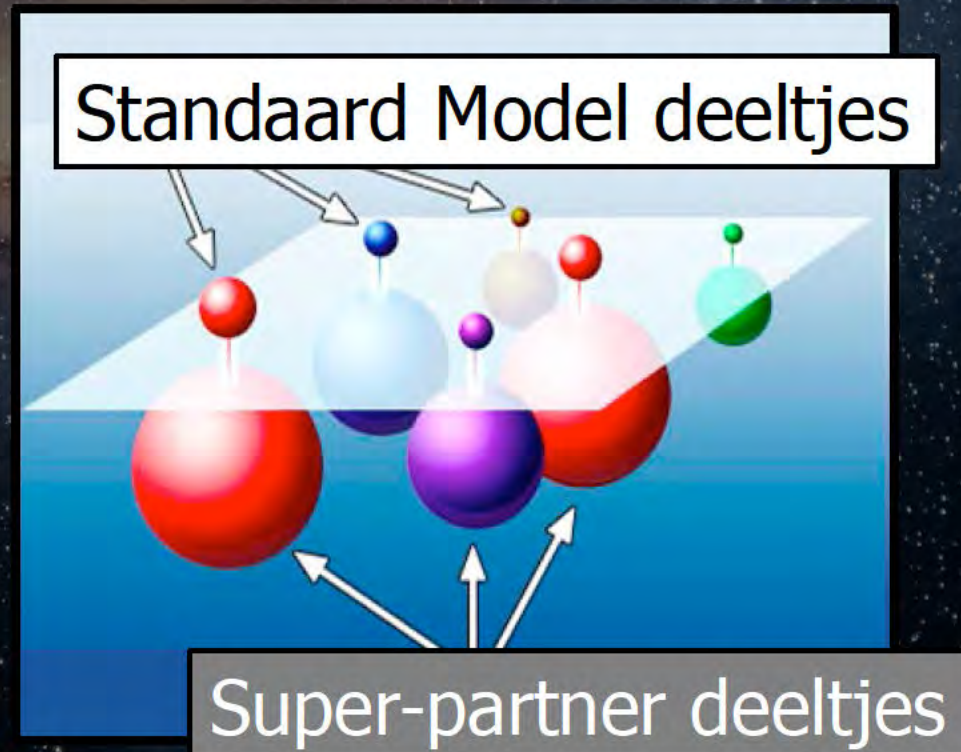
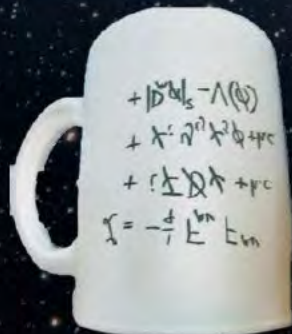
Gewone materie verstrooit en blijft achter
Donkere materie beweegt ongestoord verder

Waarvan is donkere materie gemaakt?

- Er is overtuigend astronomisch bewijs voor 'donkere materie'
- Maar waar is het van gemaakt?
- Wellicht van 'super-partners' bestaande deeltjes



Supersymmetry



Alternatieve Verklaring



5) Wat is Donkere Energie?

Accelerated Expansion of the Universe

Donkere
Energie =

0. 000 000 000 000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000 000 001

x Higgs vacuum
Energie

13.7 billion years

Relic radiation (CMB)

Dark energy accelerated expansion

Big Bang - Inflation

image: Coldcreation

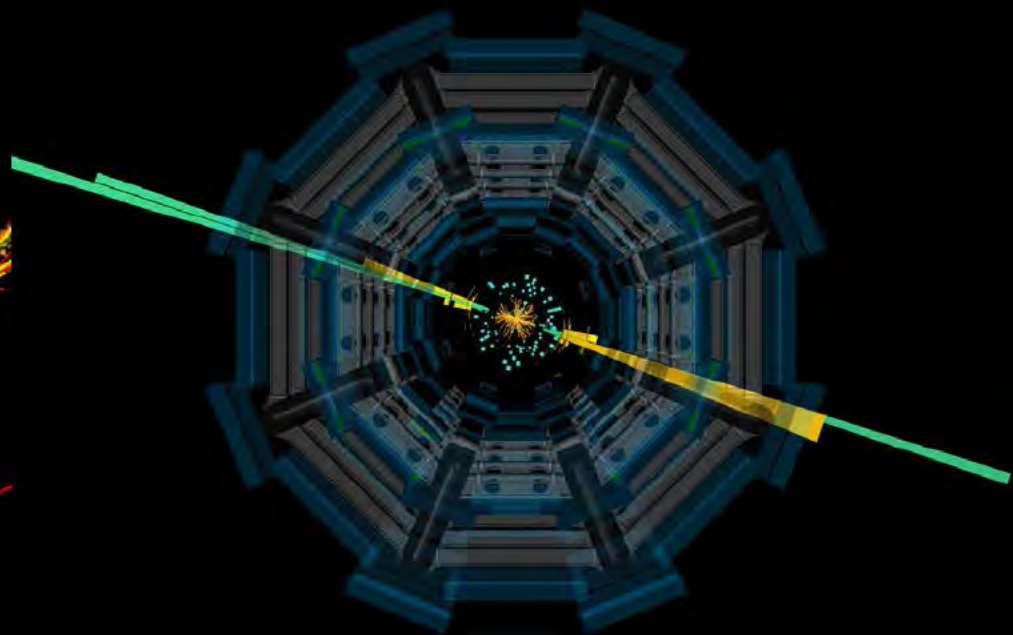
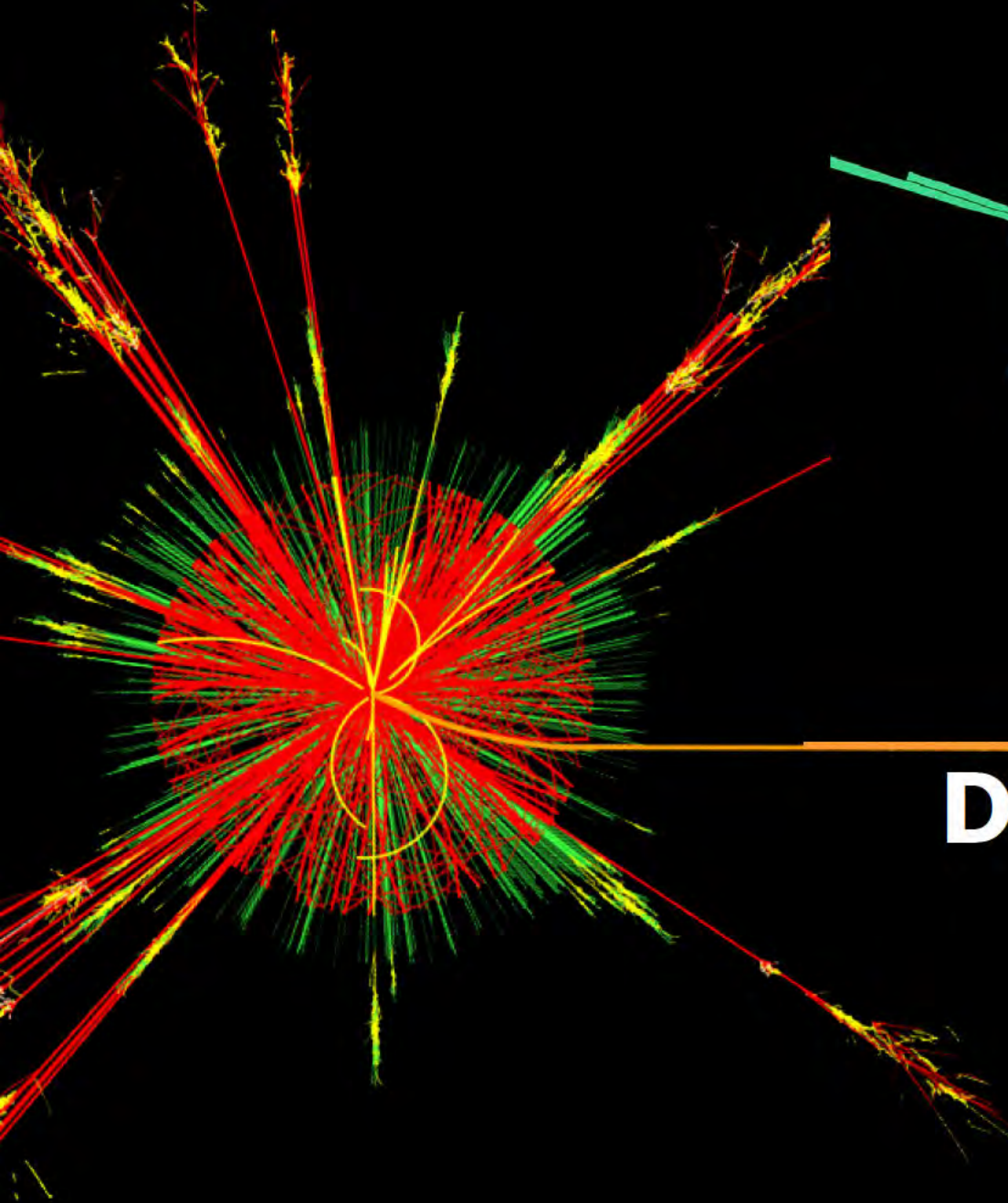
De donkere zijde overheerst



donkere energie & donkere materie



The Dark Side rules the Universe



LHC Run-II: De 2-foton saga

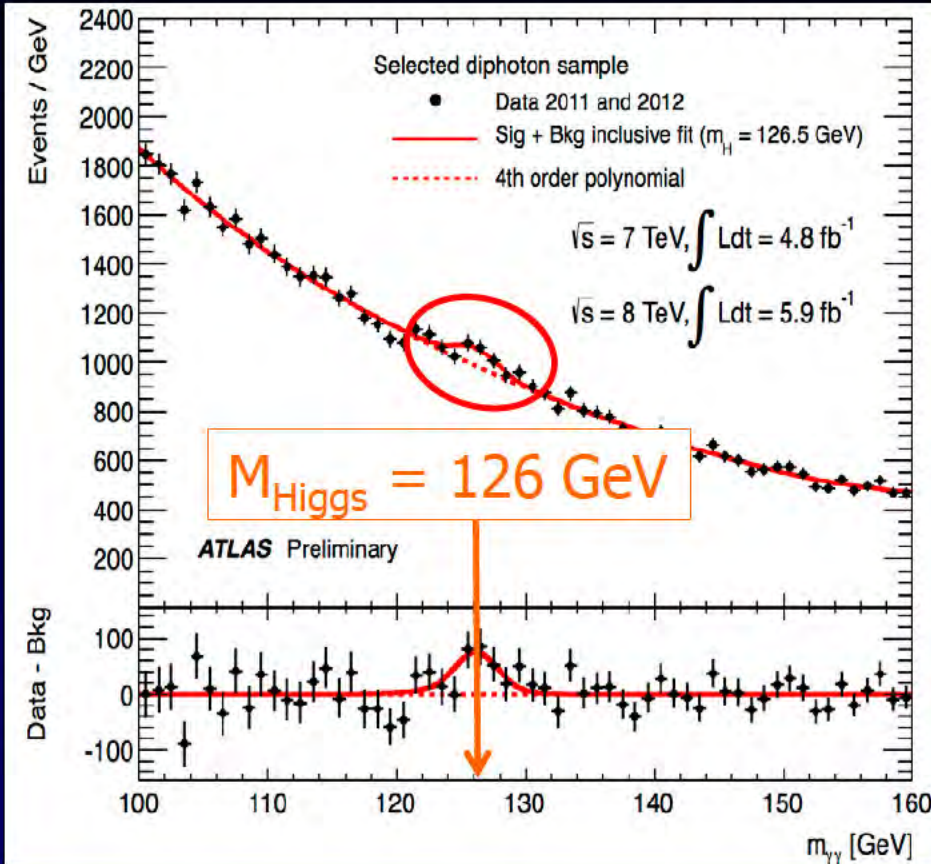
De speurtocht wordt voortgezet met LHC Run-2



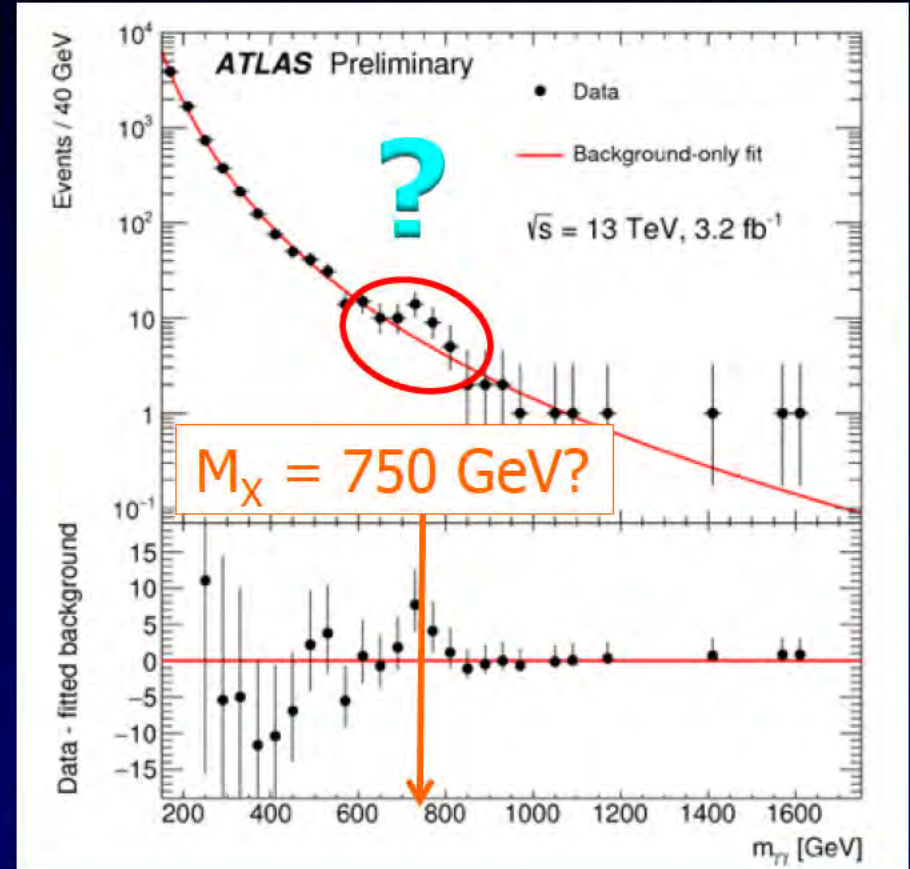
- De eerste run van de LHC (2010-2012) was een enorm succes
 - Belangrijk stuk nieuwe natuurkunde ontdekt (Higgs deeltje)
- Run-2 2015-2018 is van start gegaan met dubbele energie
 - We schuiven verder op richting de natuurkunde van de Big Bang...

Opwinding bij de LHC – een nieuw Higgs deeltje?

Higgs ontdekking 2011-2012:



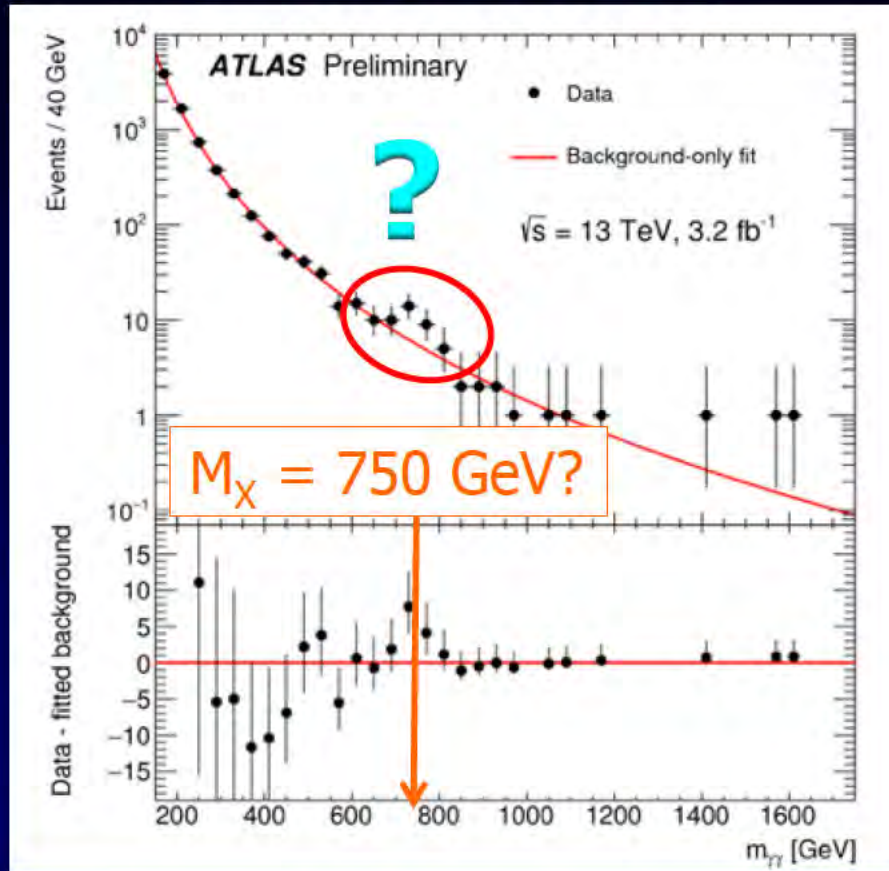
Atlas in Dec 2015 (!):



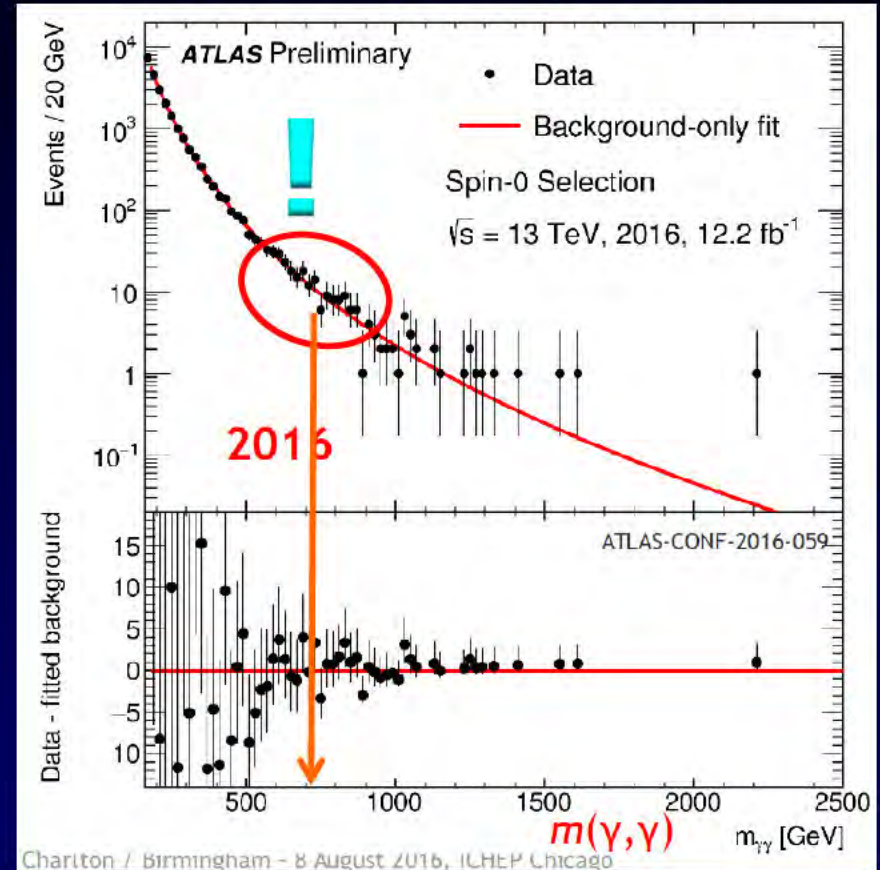
Ofwel: statistische fluctuatie, Ofwel: enorme ontdekking!

Opwinding bij de LHC – een nieuw Higgs deeltje?

Atlas in Dec 2015?:



Atlas ICHEP Aug 2016!:

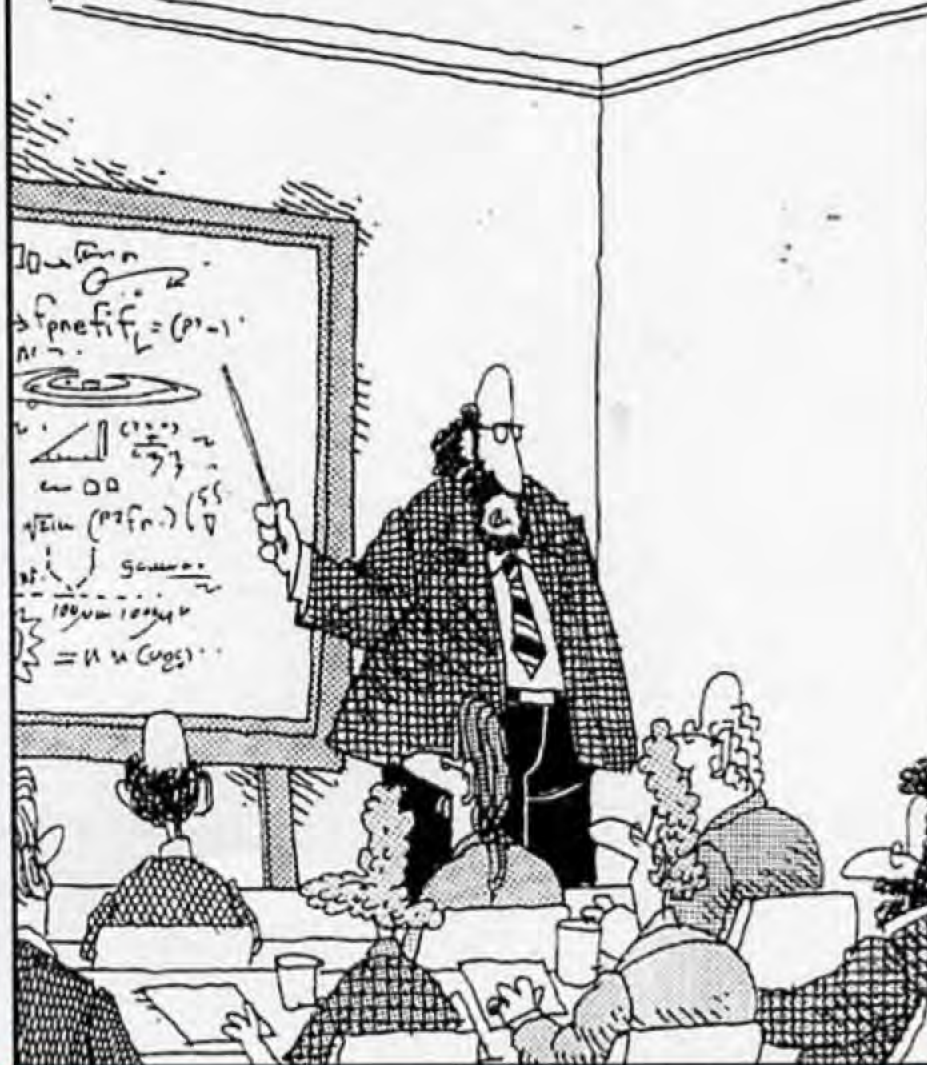


Helaas: X(750) was een statistische fluctuatie!

The 5th Wave

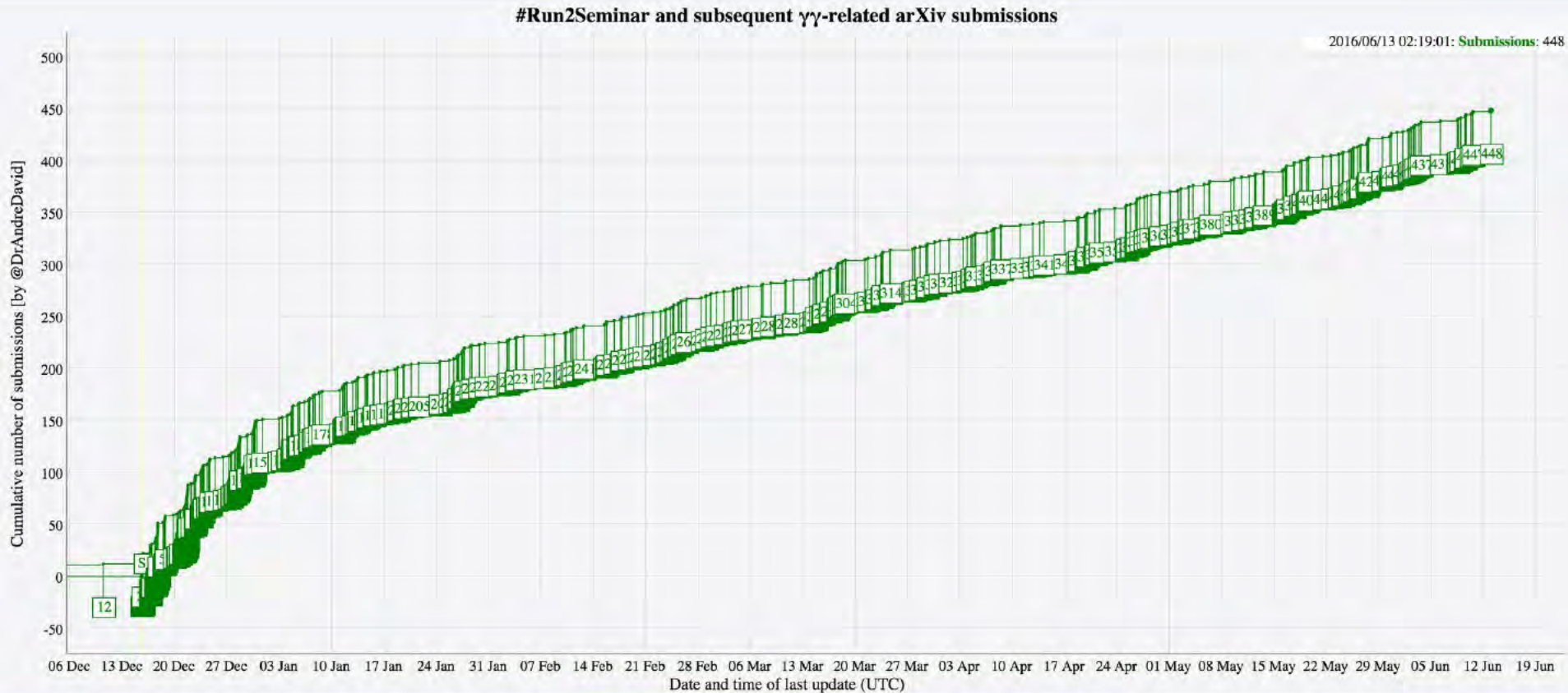
By Rich Tennant

©RICH TENNANT.COM



"After the discovery of 'antimatter' and 'dark matter', we have just confirmed the existence of 'doesn't matter', which does not have any influence on the Universe whatsoever."

Theoretische verklaringen voor di-Photon



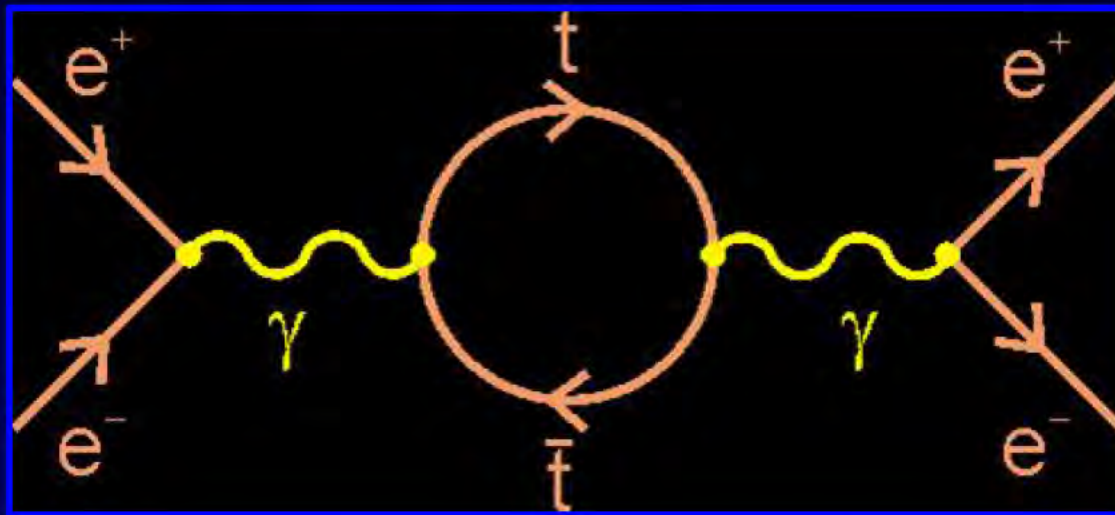
In totaal 448 artikelen!


$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

LHC Run-II: Quantum Speuren

De virtuele deeltjes methode

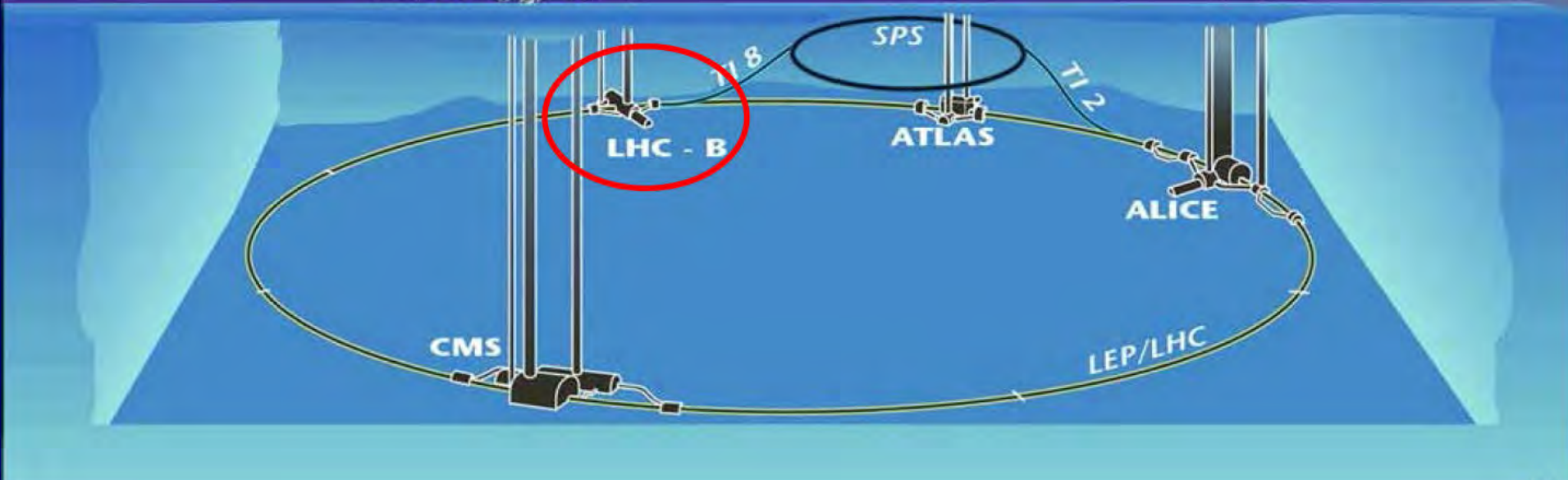
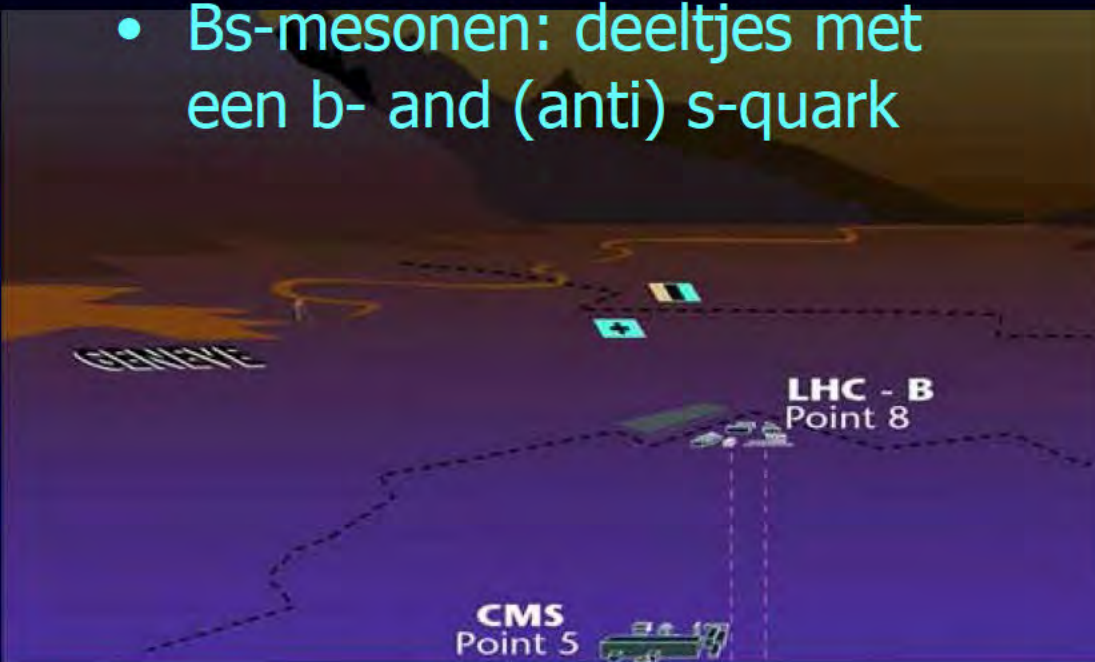
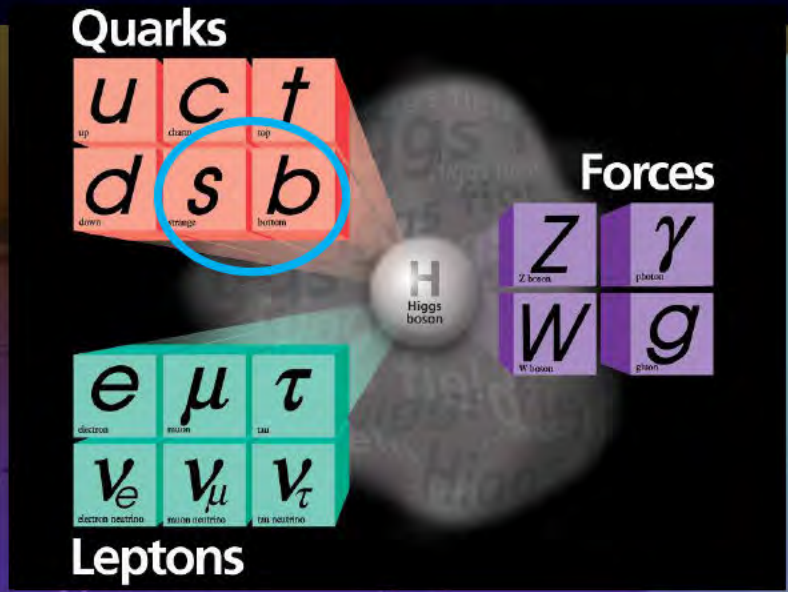
- Heisenberg onzekerheids relatie:
 - Deeltjes en antideeltjes kunnen gemaakt worden zolang er geldt: $\Delta E \Delta t < \hbar/2$



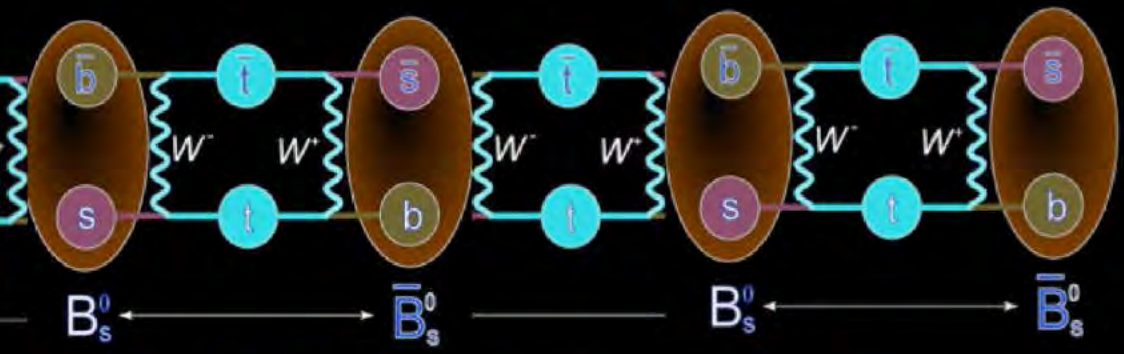
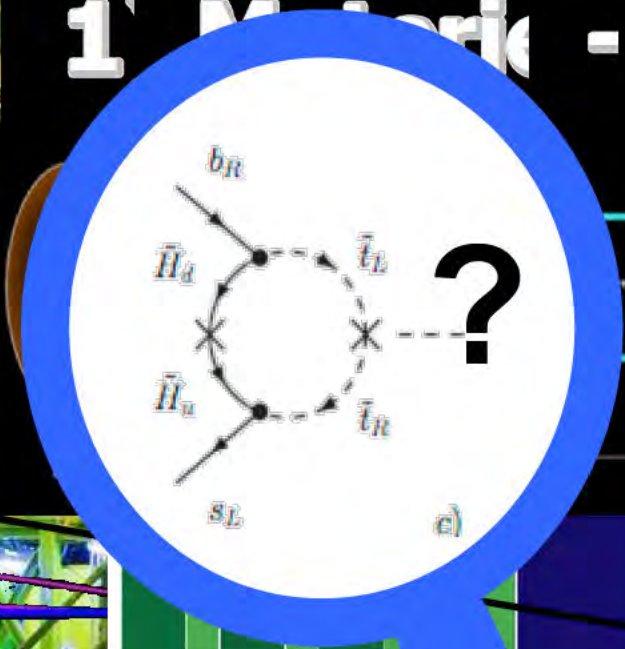
- Alternatieve manier om top quarks te zien:
 - Meet heel precies het quantumbotsings proces van e^+e^-
 - Je "ziet" het top quark via Heisenberg onzekerheid

CERN: *LHCb* experiment en *Bs* deeltjes

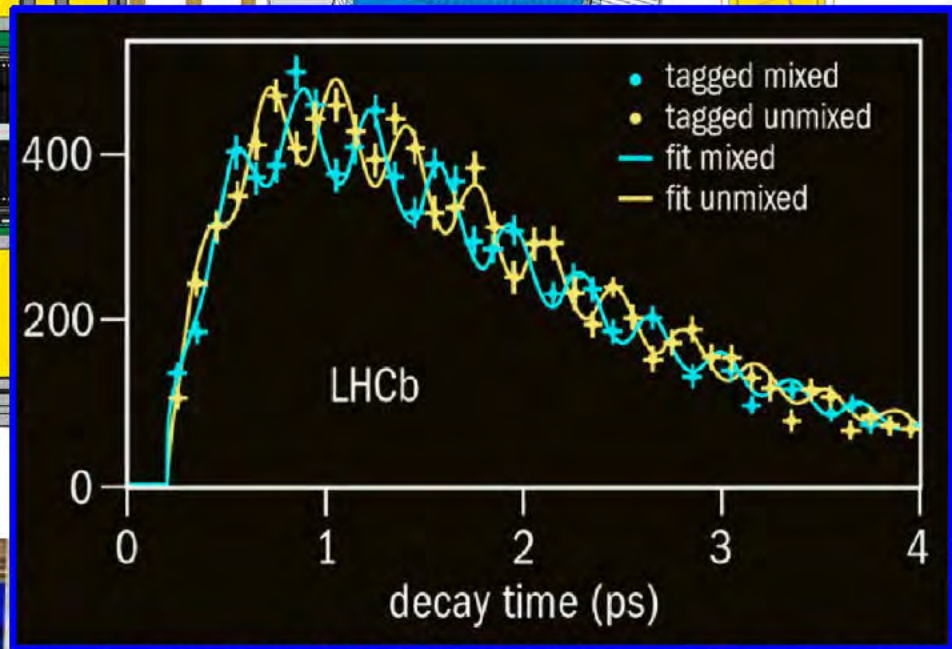
- *Bs*-mesonen: deeltjes met een *b*- and (anti) *s*-quark



1' M - antimat - antimaterie - oscillatie



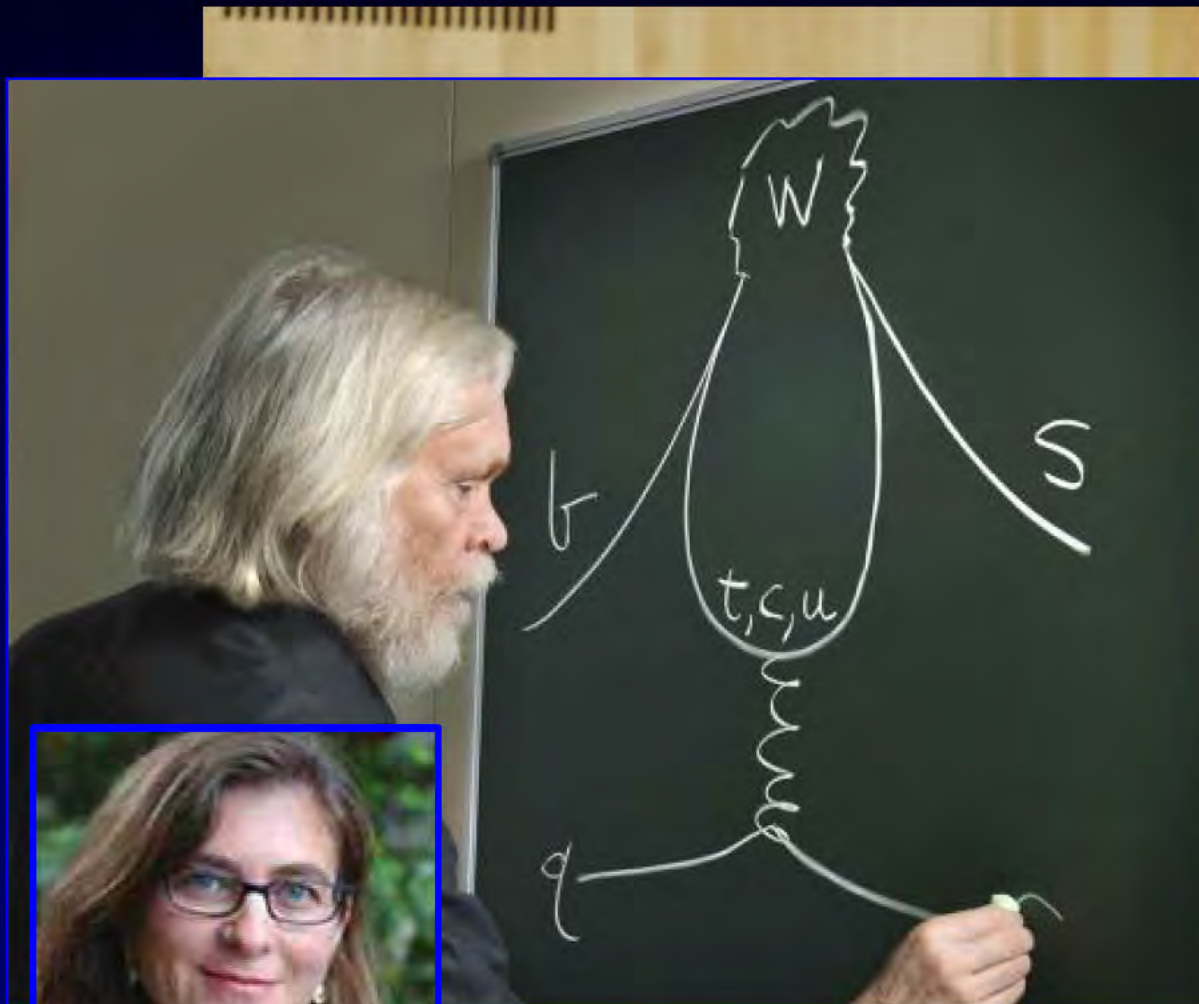
Bs deeltjes veranderen van gedaante met 17 THz!
Welke quantum deeltjes veroorzaken dit?



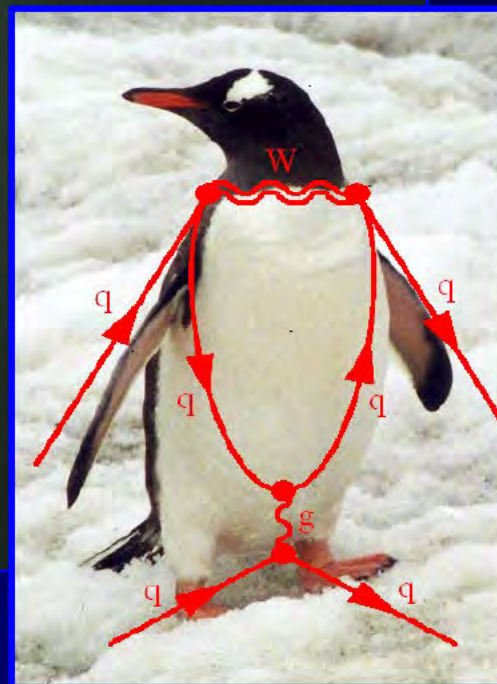
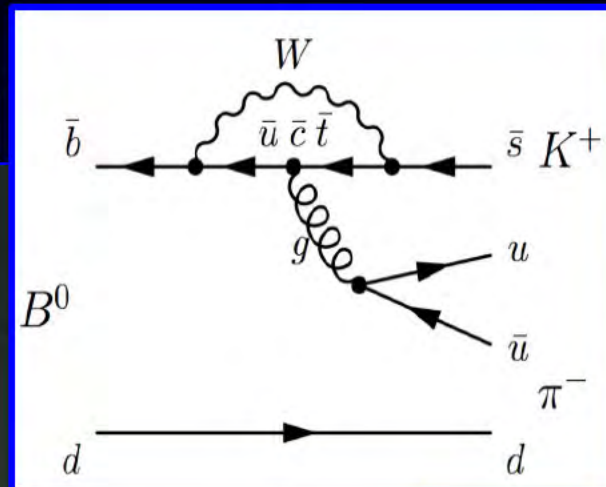
Lijkt enigszins afwijkend van het Standaardmodel.

2) Pinguins

John Ellis verliest een spelletje darts...



... van Melissa Franklin...



Penguins komen overall terug...

$$t \rightarrow W^+ b \quad BR(t \rightarrow W^+ b) = \frac{\Gamma(t \rightarrow W^+ b)}{\Gamma(t \rightarrow W^+ b) + \Gamma(t \rightarrow W^+ c) + \Gamma(t \rightarrow W^+ s)}$$

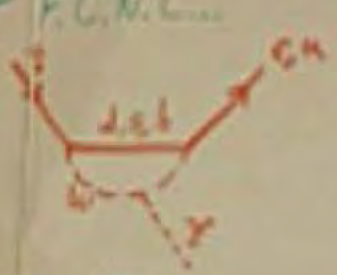


$$= \frac{|V_{cb}|^2}{|V_{cb}|^2 + |V_{cb}|^2 + |V_{cb}|^2}$$

$$\approx \frac{(0.9945)^2}{(0.0071)^2 + (0.04)^2 + (0.9945)^2}$$

$$= 99.82\%$$

but F.O.N.C...



$t \rightarrow Z c$
 $t \rightarrow Z s$

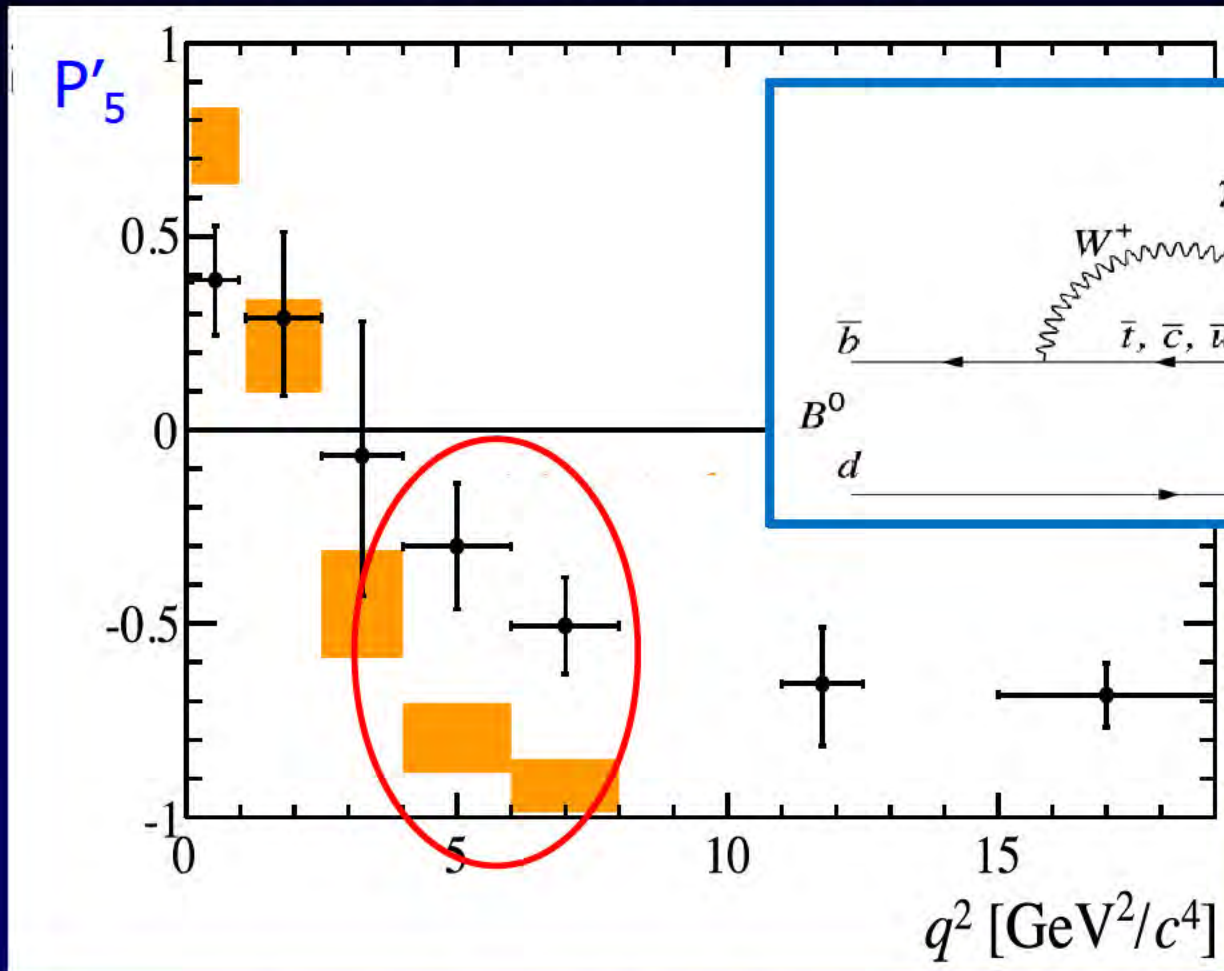


$t \rightarrow W^+ c$
 $t \rightarrow W^+ s$

$$U_{CKM} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & & \\ -s_{12}c_{13} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{13} & \\ s_{12}c_{13} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & & s_{13}e^{i\delta} \end{pmatrix}$$

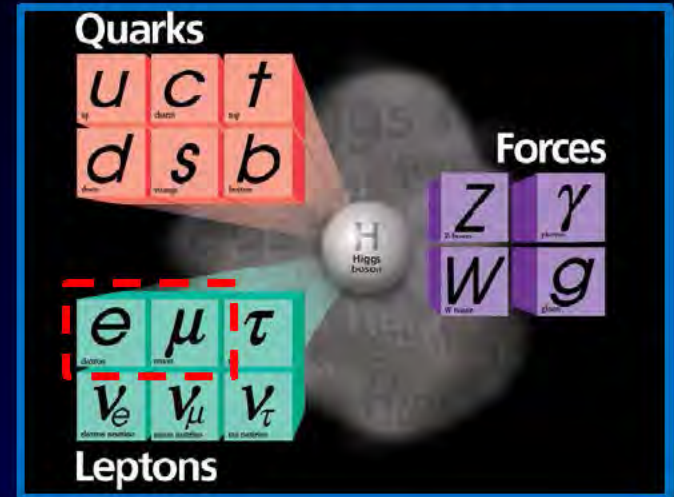
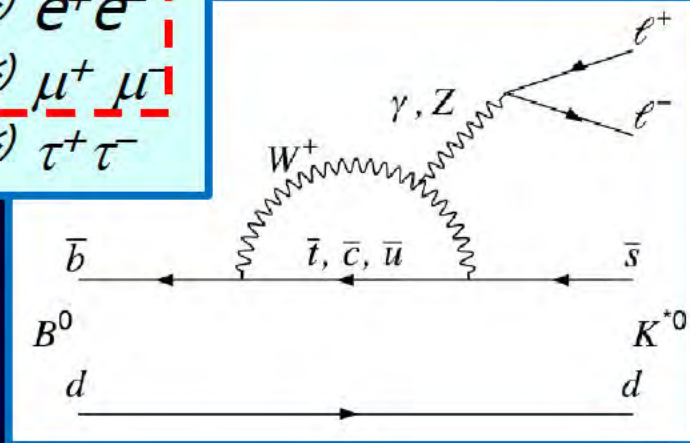
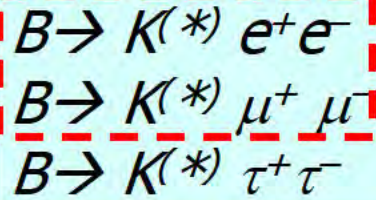
De Pinguin Puzzel: "muon Pinguins"??

Deeltjes verval $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$



Lijkt niet te kloppen met de theorie...

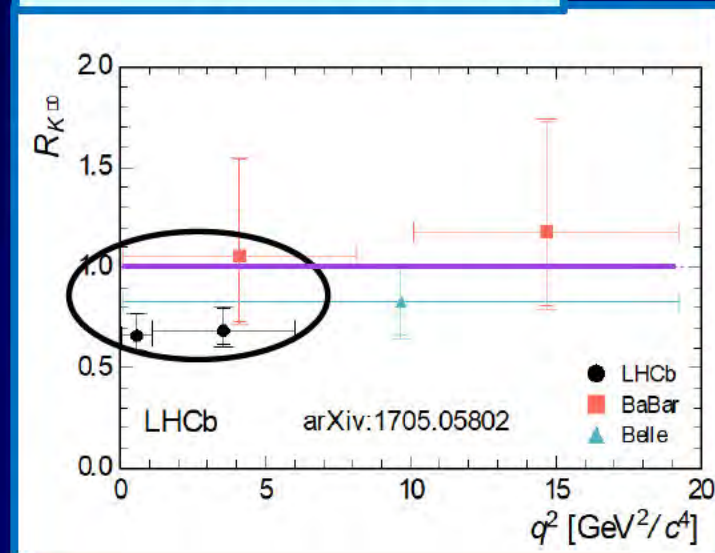
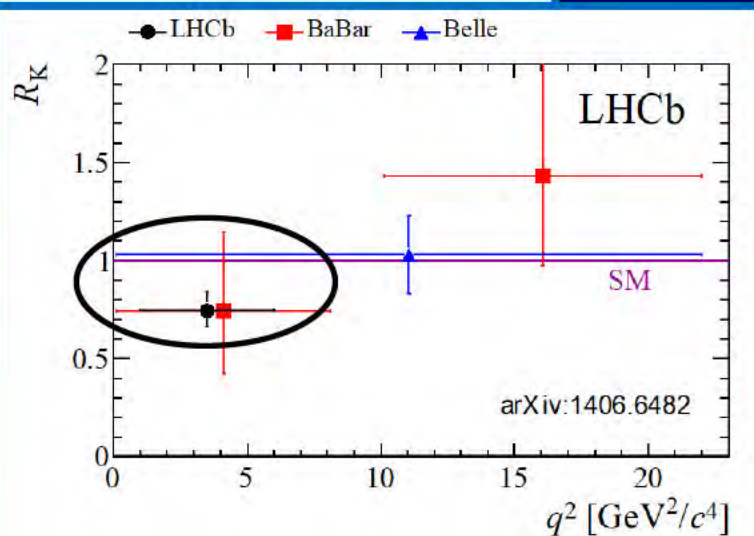
Leptonen (non-) Universaliteit: R_K, R_{K^*}



$$R_{K^+} = \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)}$$

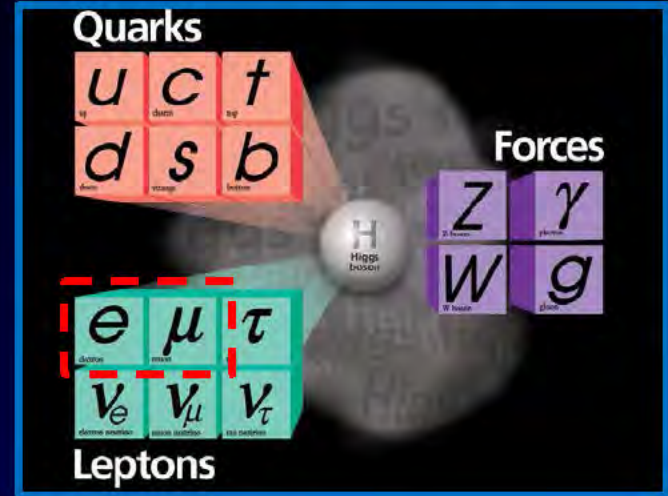
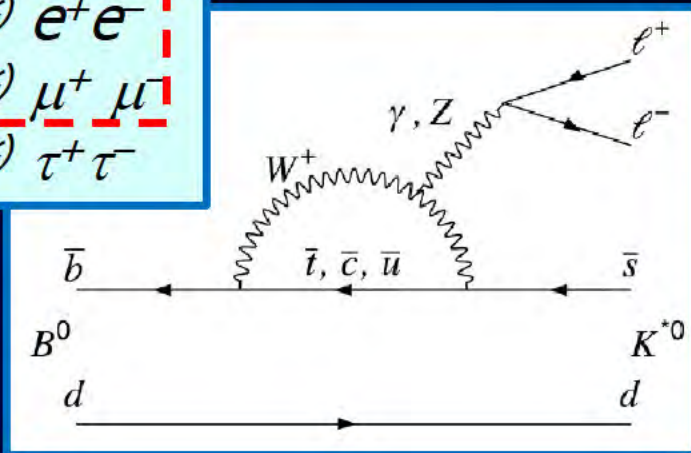
$$R_{K^{*0}} = \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-)}$$

= 1 in SM !!!



Leptonen (non-) Universaliteit: R_K, R_{K^*}

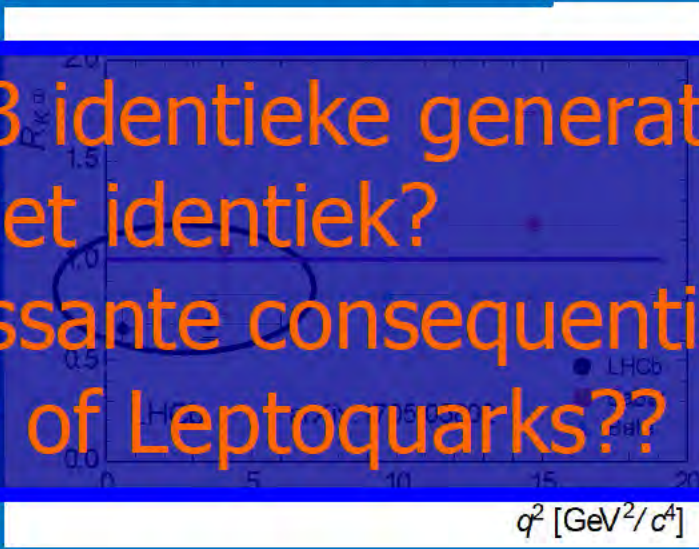
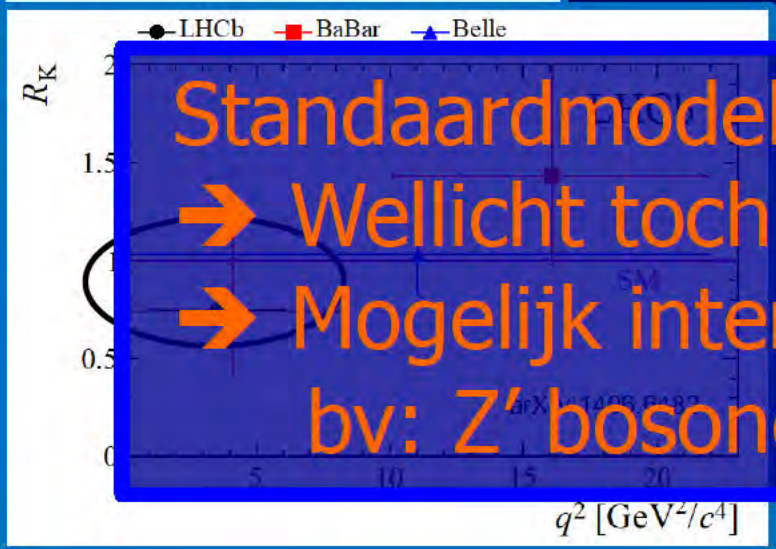
- $B \rightarrow K^{(*)} e^+ e^-$
- $B \rightarrow K^{(*)} \mu^+ \mu^-$
- $B \rightarrow K^{(*)} \tau^+ \tau^-$



$$R_{K^+} = \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)}$$

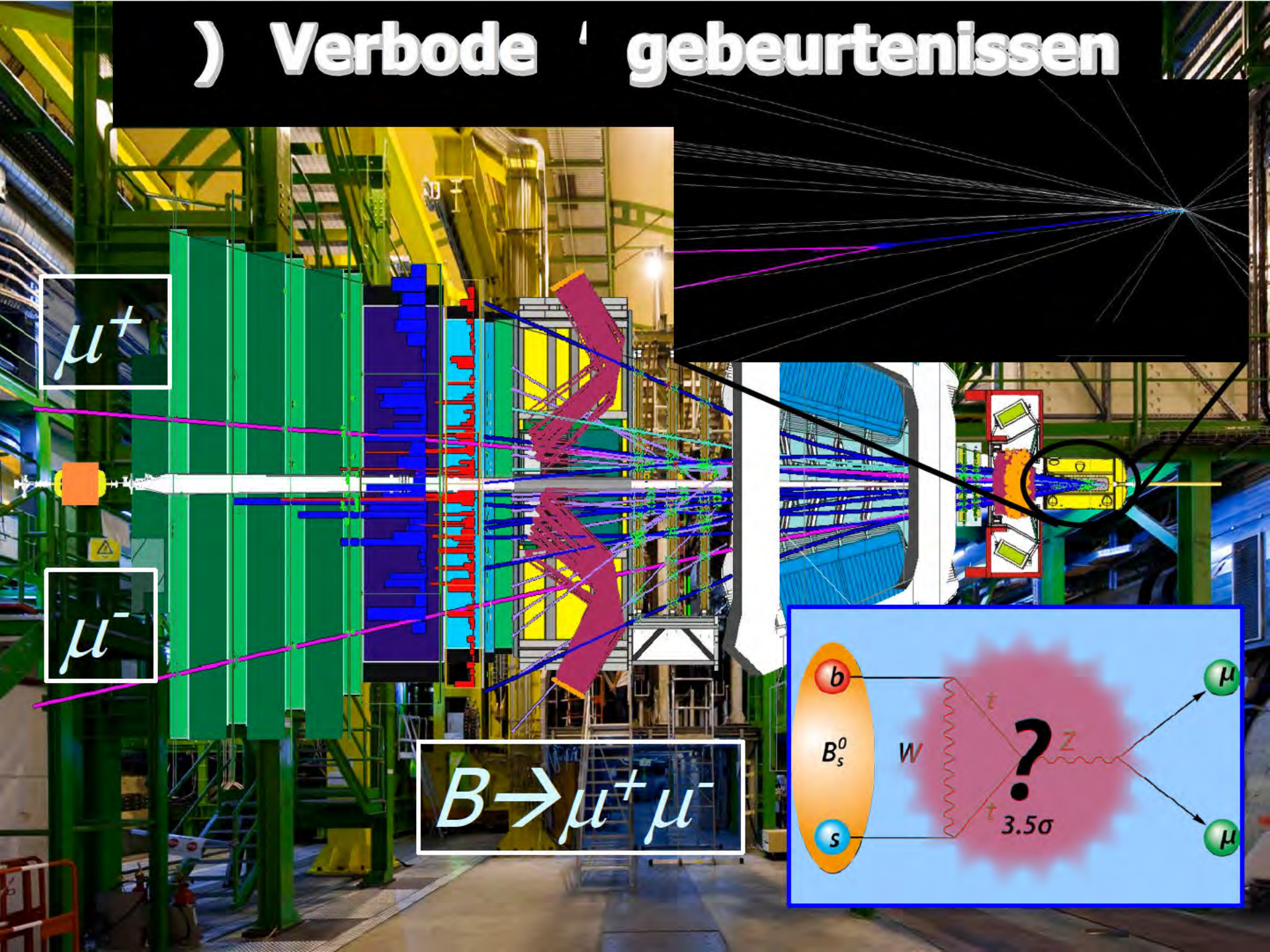
$$R_{K^{*0}} = \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-)}$$

=1 in SM !!!



Standaardmodel: 3 identieke generaties
 → Wellicht toch niet identiek?
 → Mogelijk interessante consequenties:
 bv: Z' bosonen of Leptoquarks??

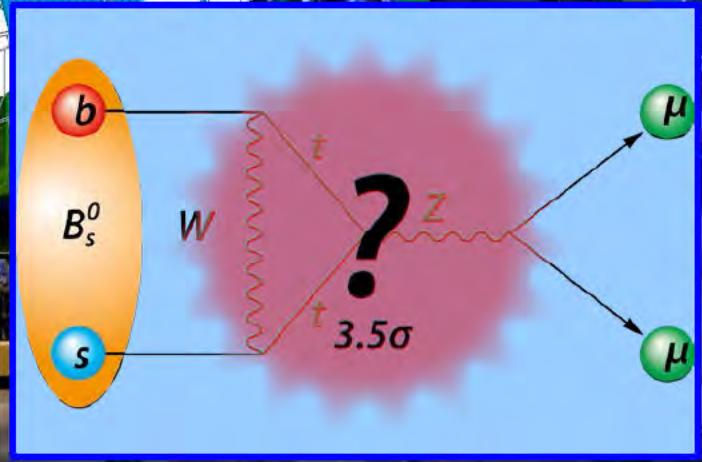
) Verbode gebeurtenissen



μ^+

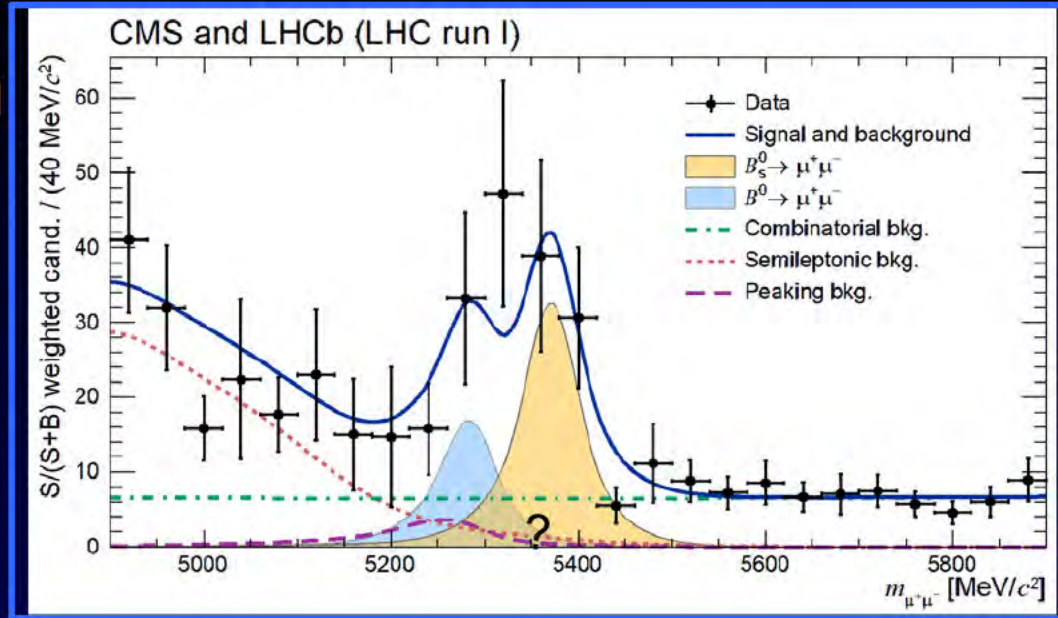
μ^-

$B \rightarrow \mu^+ \mu^-$



“Verboden” vervallen

- $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - Iets minder dan verwacht?
- $B_d \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - Iets meer dan verwacht?



Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks

u	c	t
d	s	b



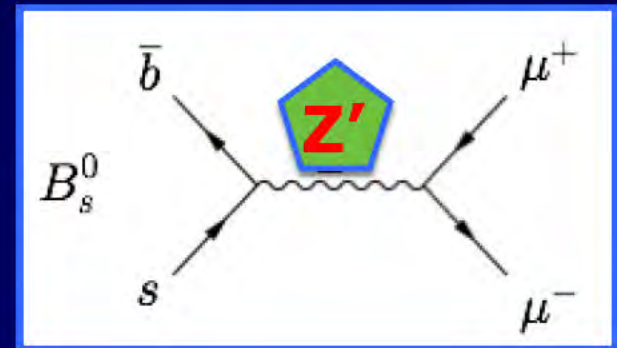
bosonen: spin=1 deeltjes

Krachten

Z	γ
W	g



Een spannende mogelijkheid?



Leptonen

ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ

We zijn relatief pas kort bezig met de LHC

Fermionen: spin=1/2 deeltjes

Quarks		
u	c	t
d	s	b

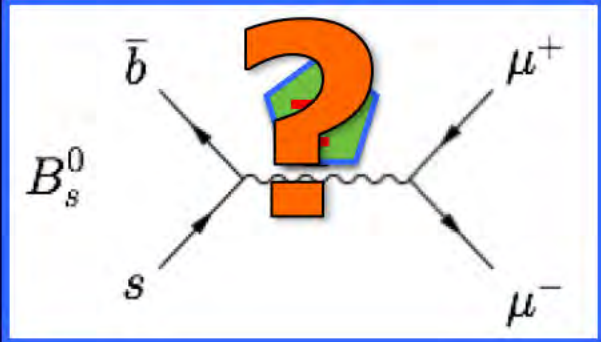
Higgs field

H

bosonen spin=1 deeltjes

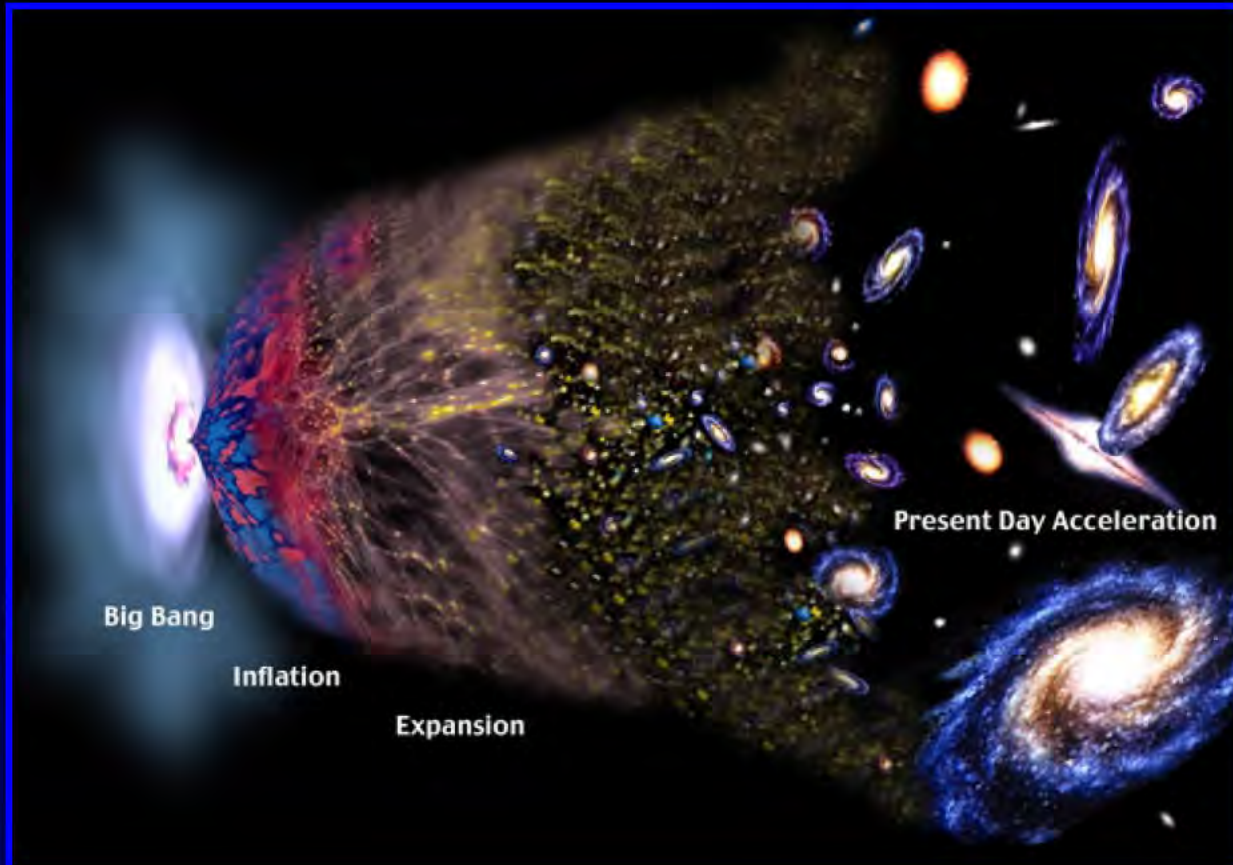
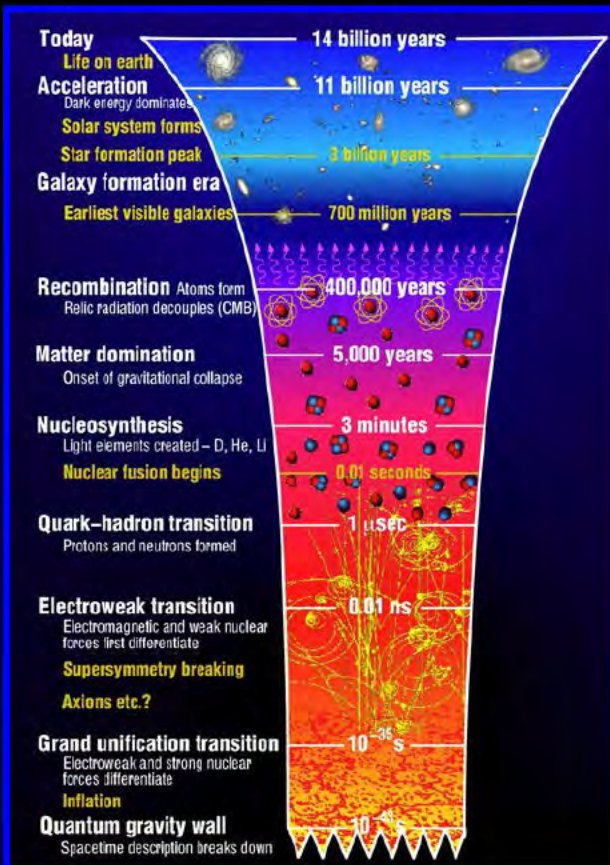
Krachten	
Z	γ
W	g

+ ?



The Feynman diagram shows the decay of a B_s^0 meson. On the left, an incoming \bar{b} quark and an incoming s quark meet at a vertex. A wavy line representing a gluon or photon connects this vertex to another vertex on the right. From the right vertex, an outgoing μ^+ muon and an outgoing μ^- muon emerge. A large orange question mark is superimposed over the central interaction region.

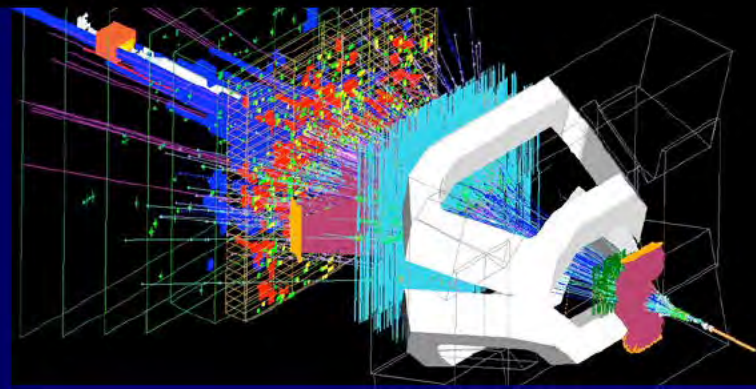
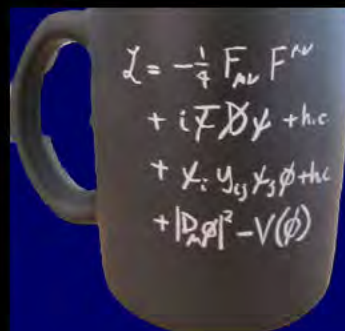
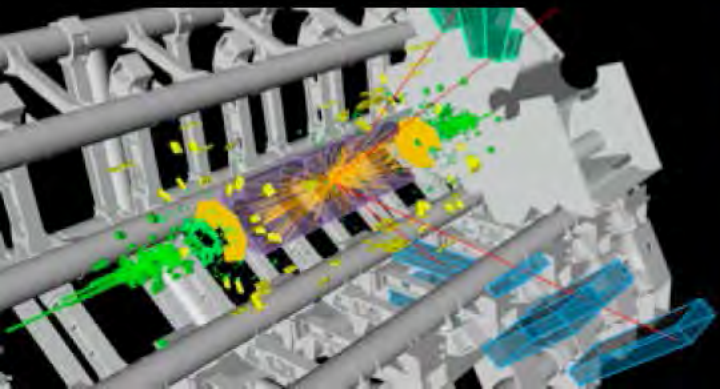
De quantum zoektocht is momenteel erg spannend!



Centrale vraag komende jaren:
 Wat gebeurde er precies tijdens de oerknal
 zodat er drie generaties deeltjes ontstonden
 en de antimaterie verdween?

Conclusions

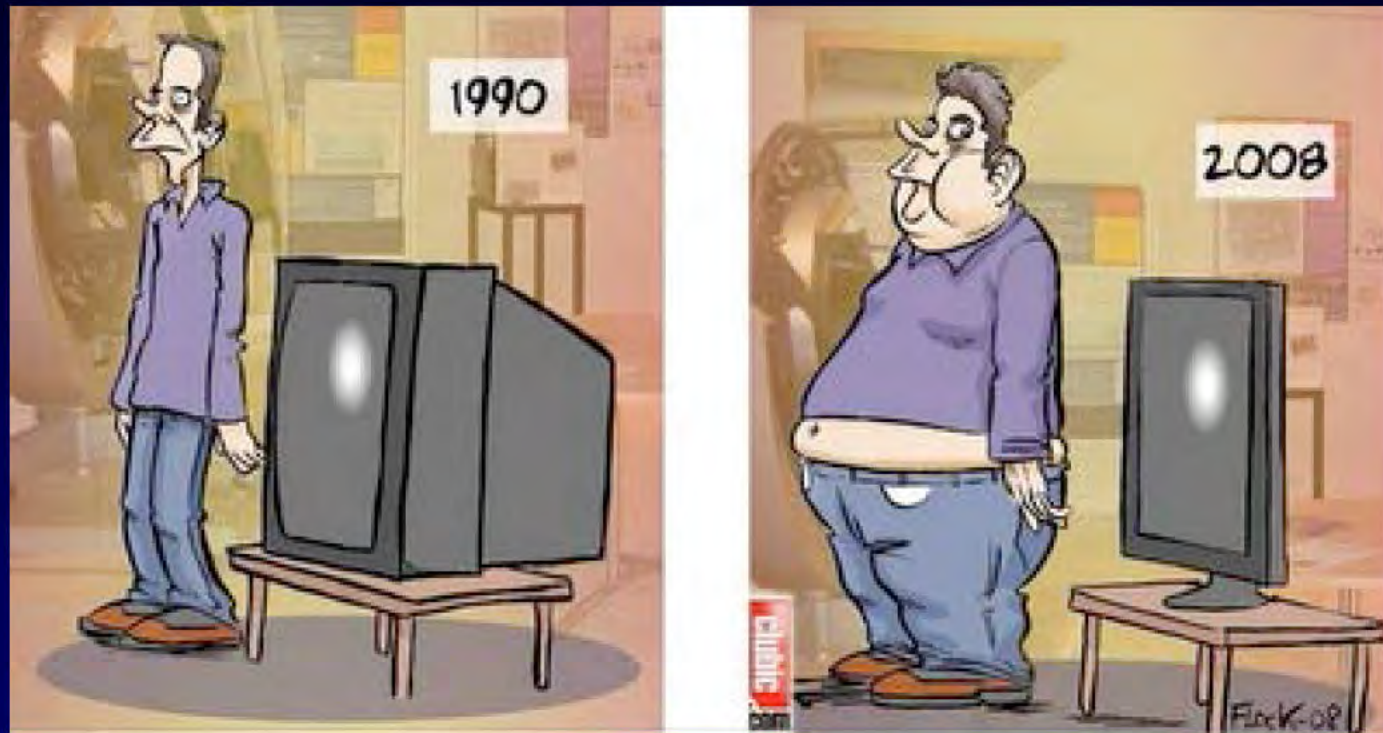
Dank voor uw aandacht





* ZOU U WILLEN AFRONDEN ? *

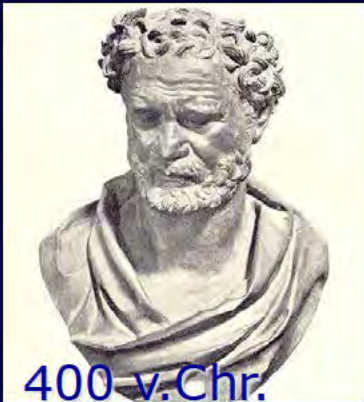
Toepassingen



Elementaire deeltjes fysica: waarom?

Vragen die de mensheid al 2000 jaar bezighouden:

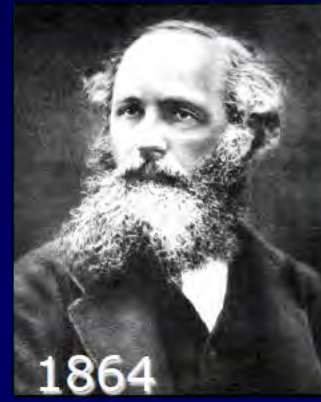
- Wat zijn de bouwstenen van de materie ?
- Welke krachten werken op deze bouwstenen ?



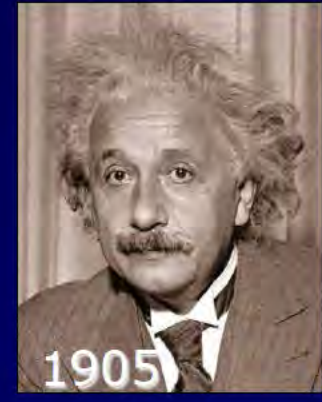
Demokritos
atoom



Newton
krachten



Maxwell
electromagnetisme



Einstein
van alles...

Wat is het nut van dit onderzoek?

- Fundamenteel onderzoek
 - Kan leiden tot verrassingen,
 - Soms zelfs nuttig...
 - Maar per definitie van te voren onbekend



"Oneindig veel toegepast onderzoek aan de kaars zou ons nooit het elektrische licht hebben gebracht."



Wat is het nut van dit onderzoek?

- Fundamenteel onderzoek
 - Kan leiden tot verrassingen,
 - Soms zelfs nuttig...
 - Maar per definitie van te voren onbekend

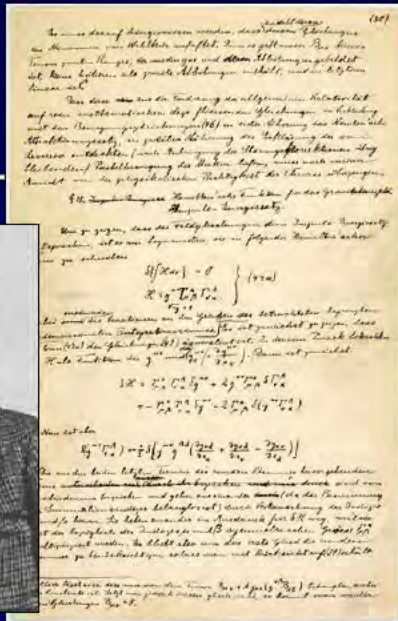
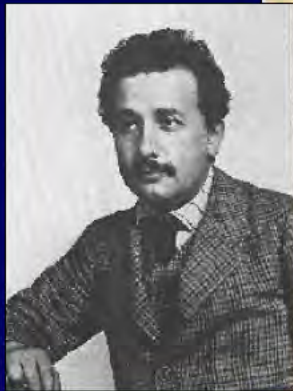


"Quantum mechanica en begrip van atomen cruciaal voor transitors."



Wat is het nut van dit onderzoek?

- Fundamenteel onderzoek
 - Kan leiden tot verrassingen,
 - Soms zelfs nuttig...
 - Maar per definitie van te voren onbekend



"Zonder relativiteitstheorie zit de GPS er 10km/dag naast!"



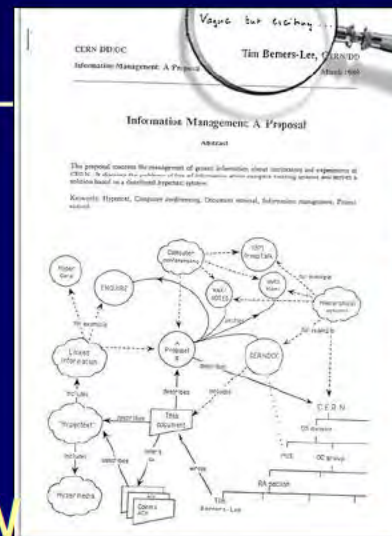
Wat is het nut van dit onderzoek?

- Fundamenteel onderzoek
 - Heeft nuttige bij-effecten
 - Medische toepassingen
 - Internet
 - Opleiden van onderzoekers voor de maatschappij (Philips, ASML, etc, etc)

PET scan



WWW



Wat is het nut van dit onderzoek?

- Veel mensen zijn gewoonweg nieuwsgierig
- Hoort bij de mens
 - wat is het nut van kunst? religie?



Wat is het nut van dit onderzoek?

- Duur??

- Totale kosten LHC: 6 miljard
- Kosten voor NL: 50 miljoen / jaar

– Ter vergelijking, zie begroting Ministerie v. OCW:



Cern	31 miljoen
ESA	32 miljoen
Genomics	36 miljoen
Kon. Bibliotheek	45 miljoen
TNO	192 miljoen
Stichting AAP	10 miljoen
Monumentenzorg	70 miljoen
Film	20 miljoen
Archeologie	10 miljoen

(Topsport: 28 miljoen)₅₈



* NOU IK GA *