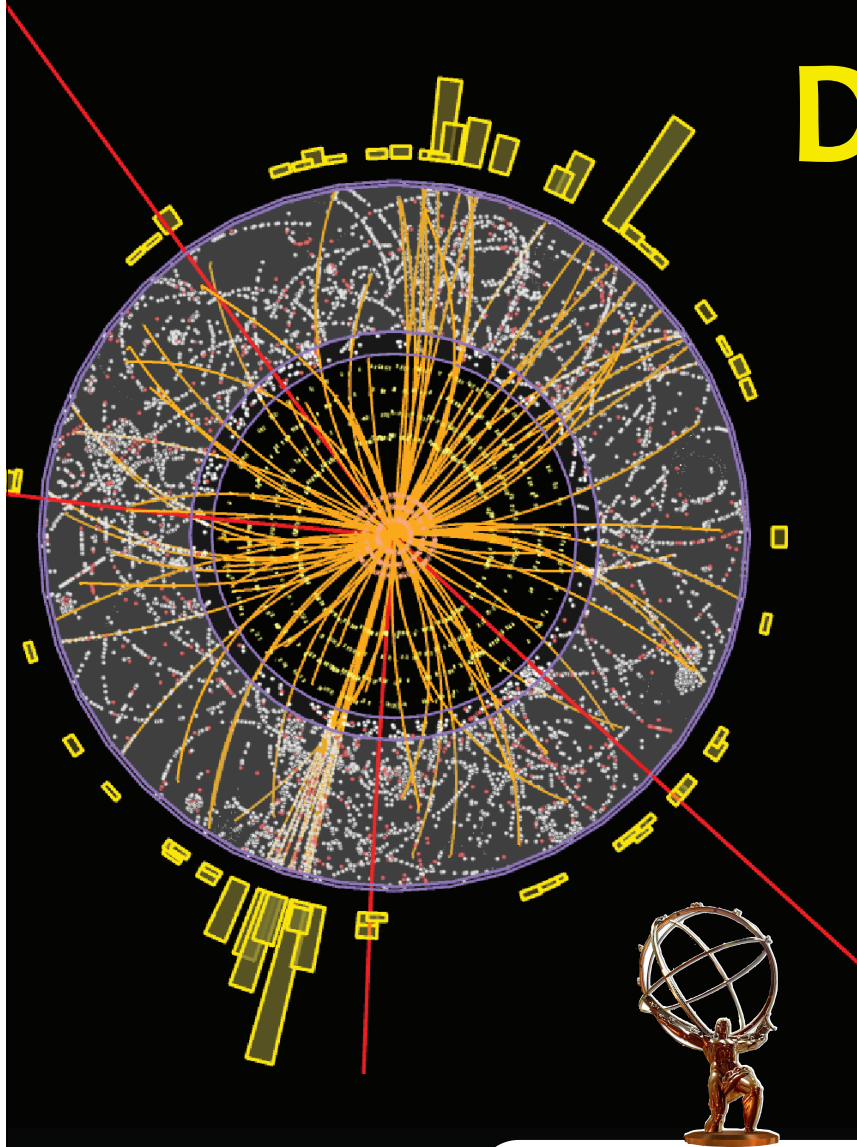


De jacht naar het Higgs deeltje



FYSICA
2013

Stan Bentvelsen
voor het Nikhef-ATLAS team



Large Hadron Collider (2010-20??)

CMS

ATLAS

LHCb
RHIC



20^{ste} verjaardag ATLAS collaboratie

**Meer dan 3000 wetenschappers,
186 instituten, 46 landen**

- ~1981 • eerste ideeën
- 1992 • ATLAS ontwerp
- 1994 • groen licht door council
- 2008 • installatie compleet
- 2010 • eerste botsingen hoge energie
- 2011 • grote hoeveelheid botsingen
- 2012 • grote hoeveelheid botsingen





Nederlandse ATLAS group

Deeltjesfysica = team werk!

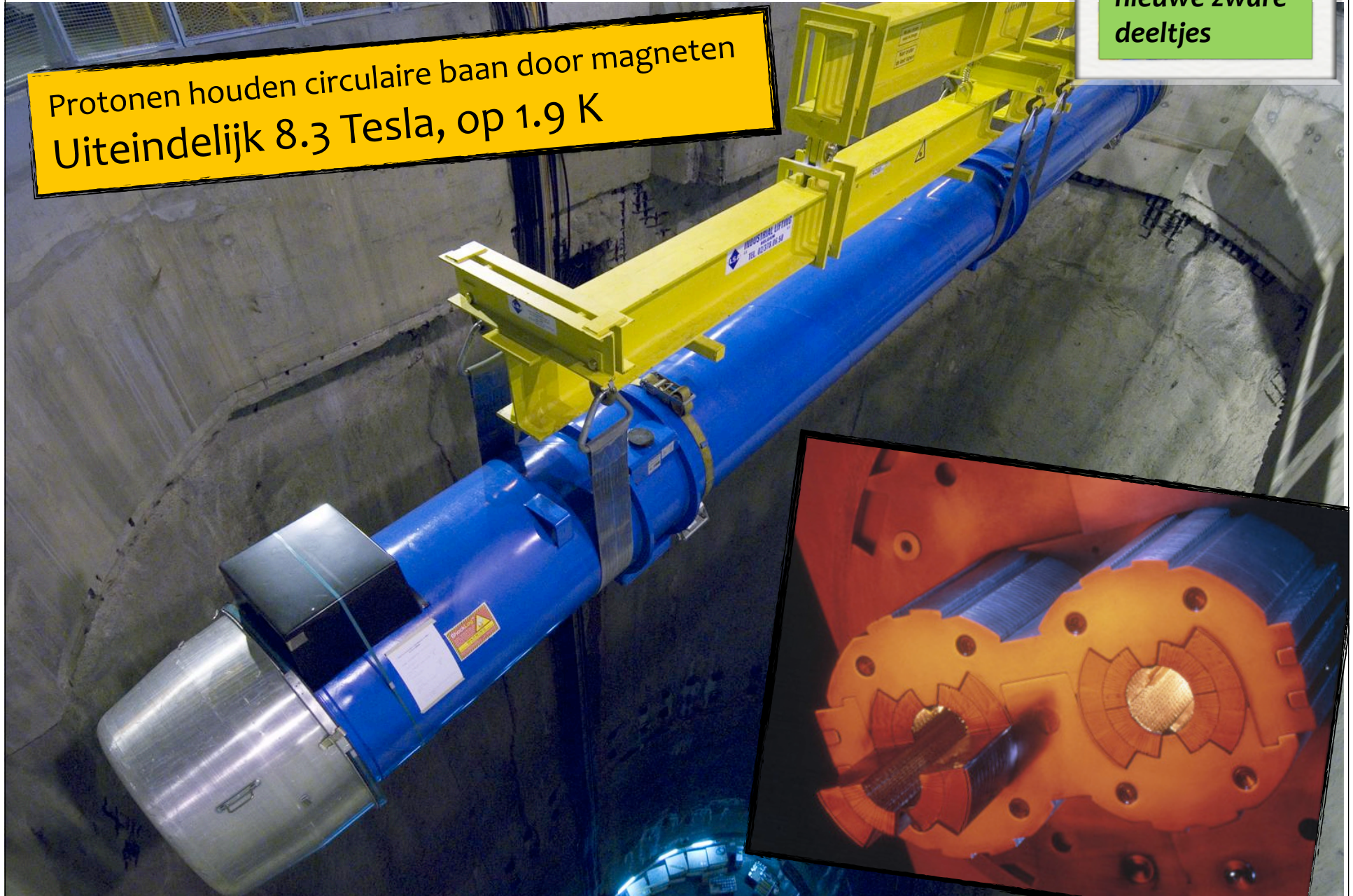


FOM/Nikhef - Radboud Universiteit - Universiteit van Amsterdam

Uitdaging 1: 7000+7000 GeV

observatie
nieuwe zware
deeltjes

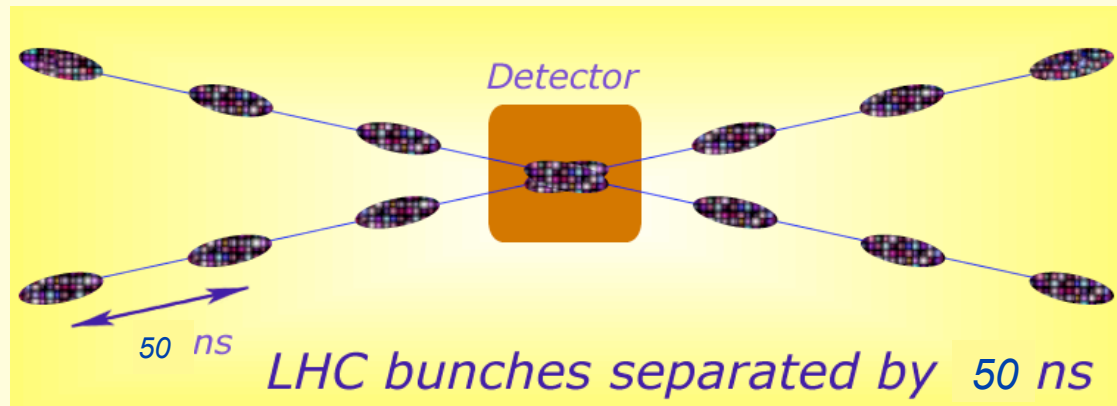
Protonen houden circulaire baan door magneten
Uiteindelijk 8.3 Tesla, op 1.9 K



Uitdaging 2: Luminositeit

observatie zeldzame processen

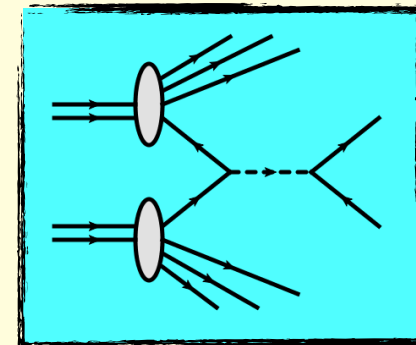
- Higgs deeltje als ‘een enkele speld in 10 miljoen hooibergen’



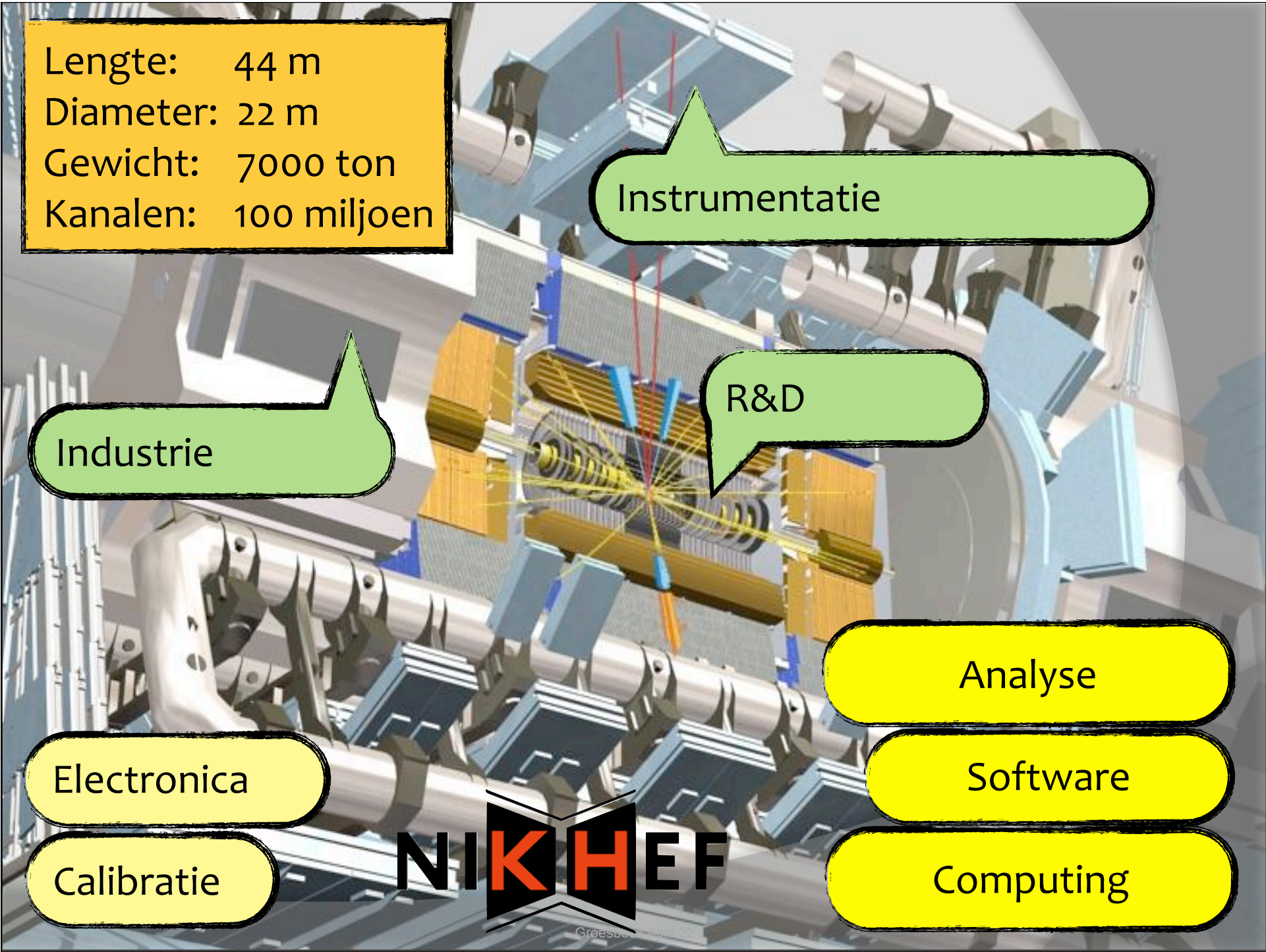
‘pakketjes’ protonen met elk 10^{11} stuks

- 7 dagen per week, 24 uur per dag, botsingen

- Machine vullen met pakketjes deeltjes
- Energie verhogen naar maximaal
- Voortdurende botsingen (~10 hrs)
- Machine leeg en recyclen



– ATLAS registreert botsingen zodra de bundel “stabiel is”



Lengte: 44 m
Diameter: 22 m
Gewicht: 7000 ton
Kanalen: 100 miljoen

Instrumentatie

Industrie

R&D

Electronica

Calibratie

Analyse

Software

Computing

NIKHEF

Lengte: 44 m
Diameter: 22 m
Gewicht: 7000 ton
Kanalen: 100 miljoen

Muon Spectrometer

End-cap toroide

SCT endcap

Higgs ontdekking

Supersymmetrie

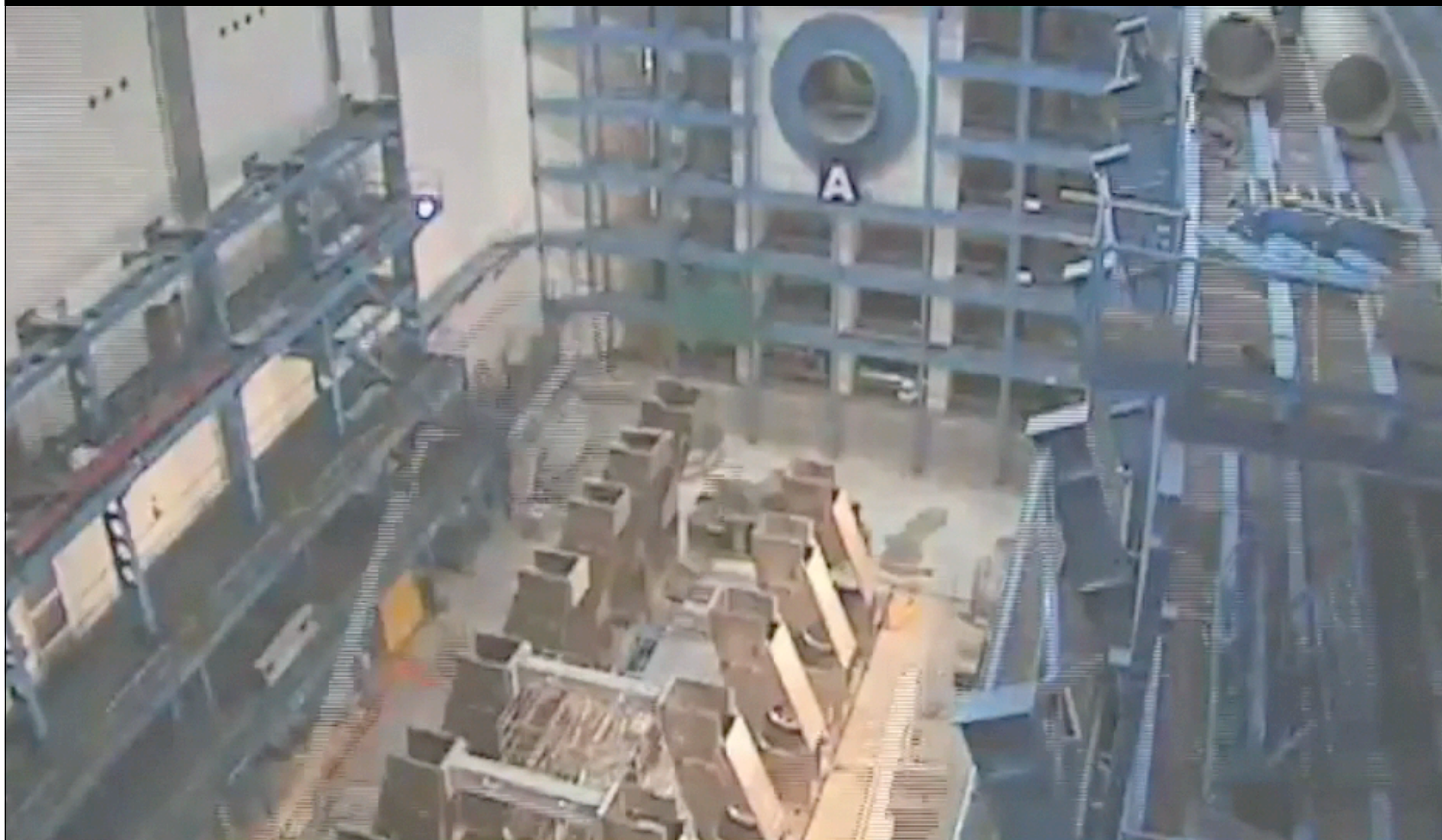
Top-quarks

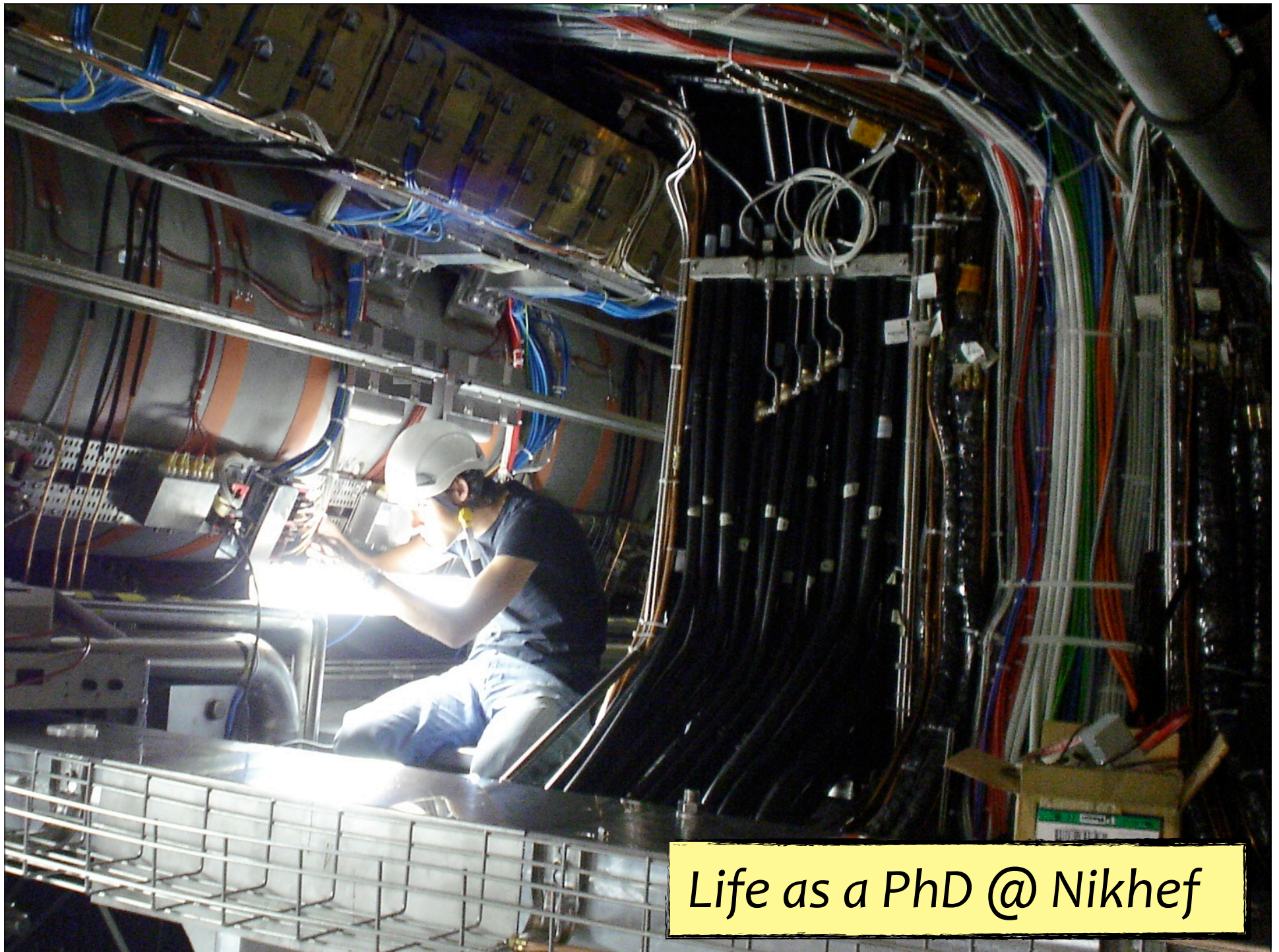
Trigger/DAQ

Tracking

NIKHEF

Groesbeek, 2000





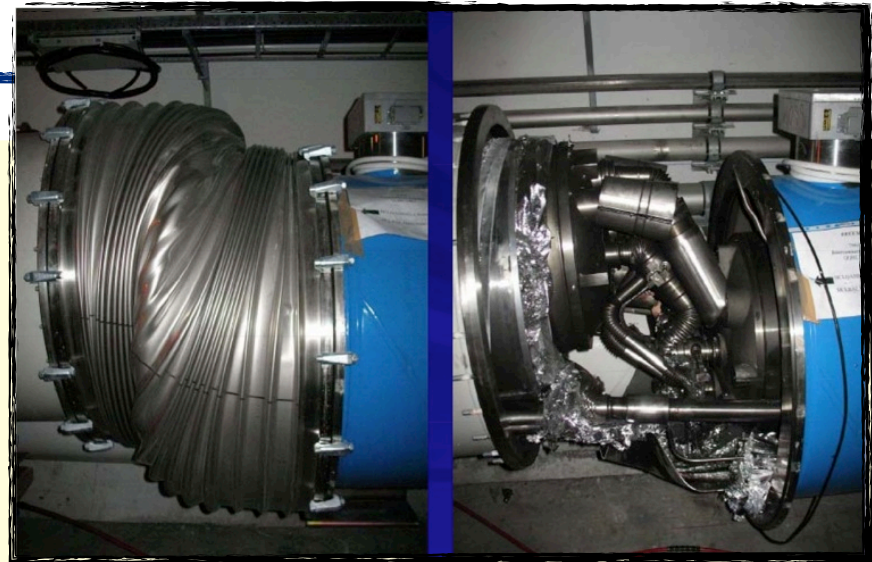
Life as a PhD @ Nikhef

Higgs - into the heart of imagination



Geschiedenis...

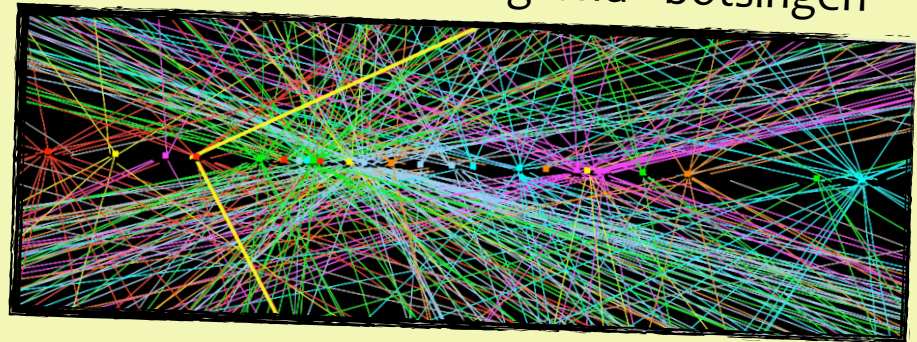
- LHC schema aangepast
 - **2009:** helium lek - ongeluk
 - ~100 di-pool magneten kapot
 - **2010:** LHC op halve energie
 - **2014:** Volledige energie
- Begin botsingen
 - **2011:** LHC verwachtingen overtroffen met factor 5
 - **2012:** Opnieuw boven verwachting
- Veel botsingen!
 - ATLAS werkt uitstekend
 - Grote efficiëntie en nauwkeurigheid



De vele botsingen maakt analyse lastig!

- Meerdere botsingen per doorkruising

$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ met 27 “achtergrond” botsingen



PROTON PHYSICS: STABLE BEAMS

Energy:

3500 GeV

I(B1):

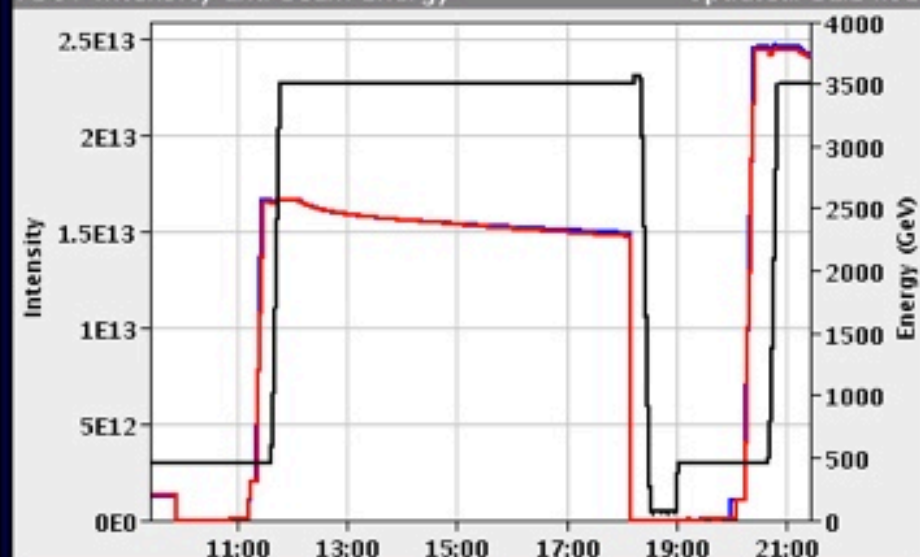
2.43e+13

I(B2):

2.41e+13

FBCT Intensity and Beam Energy

Updated: 21:24:52



Instantaneous Luminosity

Updated: 21:24:53



Comments 22-03-2011 21:21:07 :

STABLE BEAMS

2010 record passed !!!!

BIS status and SMP flags

B1

B2

Link Status of Beam Permits

true

true

Global Beam Permit

true

true

Setup Beam

false

false

Beam Presence

true

true

Moveable Devices Allowed In

true

true

Stable Beams

true

true

AFS: 75ns_200b_194_178_188_24bpi9inj

PM Status B1

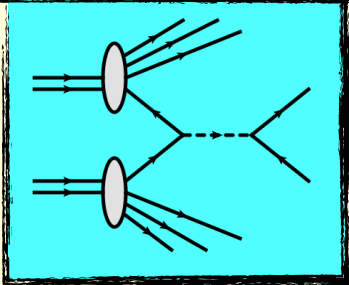
ENABLED

PM Status B2

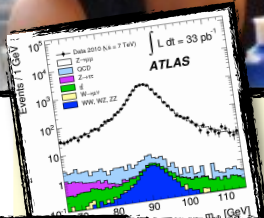
ENABLED

Infrastructuur ...

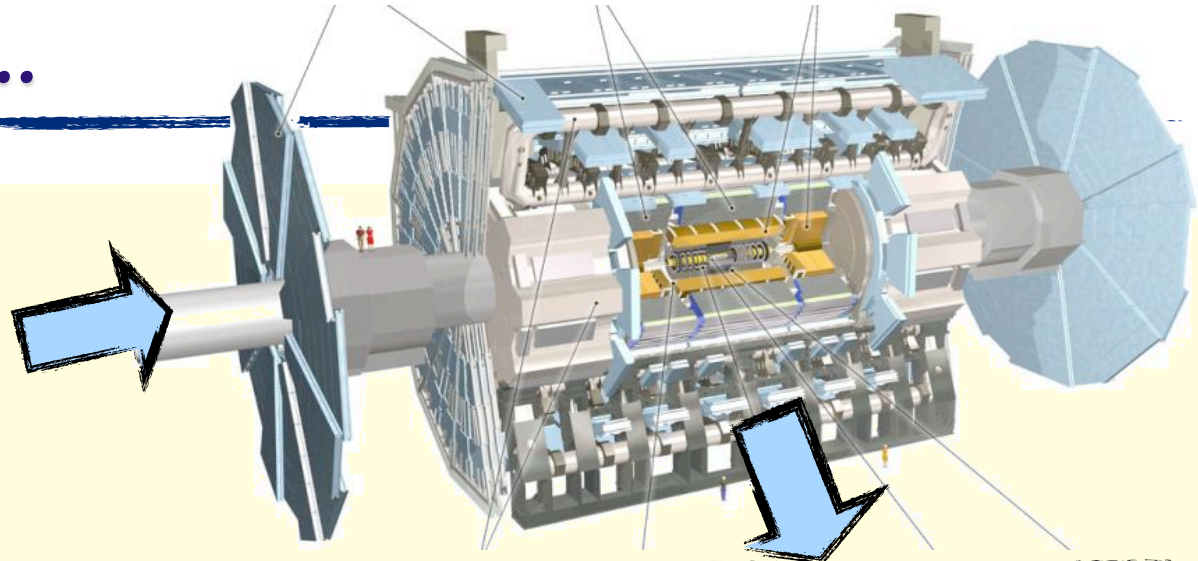
$1.3 \cdot 10^{15}$ botsingen LHC



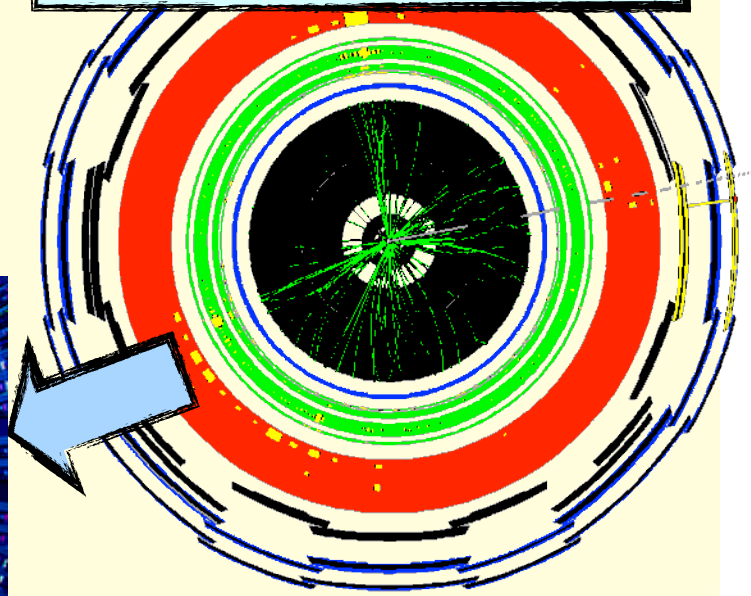
Analyse van botsingen
door promovendi



$4 \cdot 10^9$ beschikbaar



Trigger systeem selecteert 600 Hz
 ~ 1 GB/s data



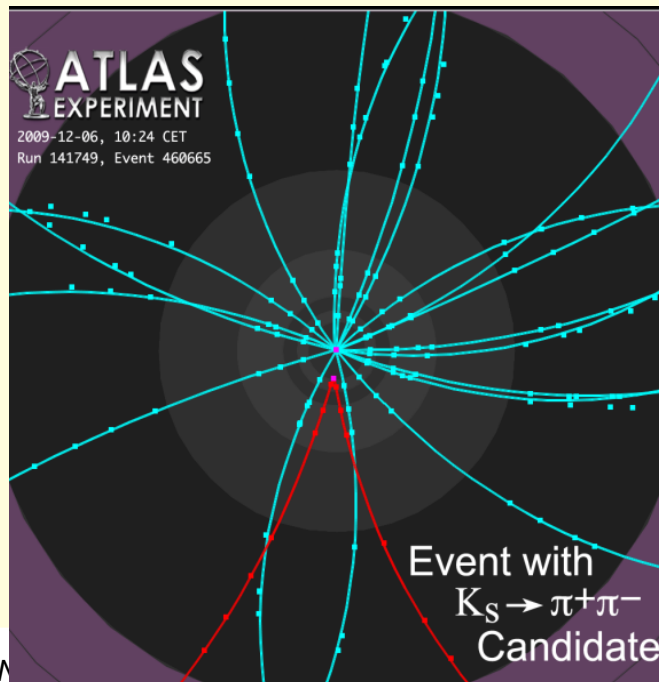
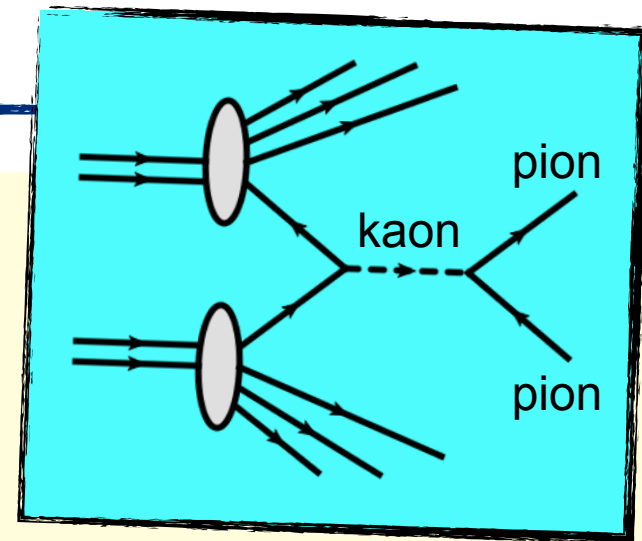
Data distributie met
GRID computers



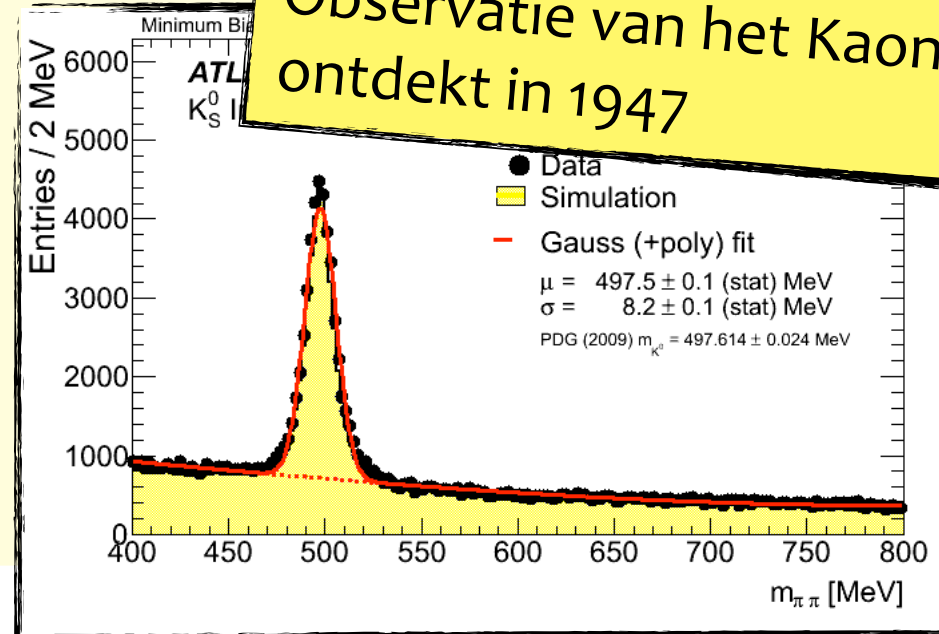
Zoeken naar deeltjes

$$Mc^2 = mc^2 + E_{\text{kin}}$$

- Meting 'vervals-producten'
 - Achterhalen wat precieze massa was



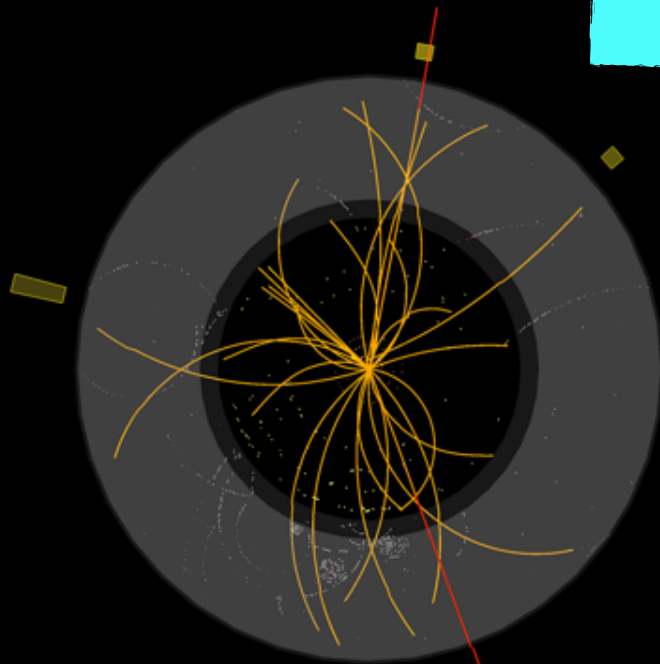
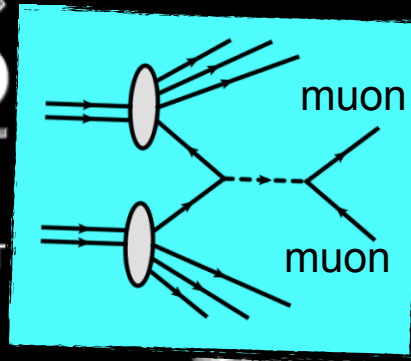
Observatie van het Kaon, ontdekt in 1947





ATLAS EXPERIMENT

Run: 154822, Event: 14321500
Date: 2010-05-10 02:07:22 CEST



$p_T(\mu^-) = 27 \text{ GeV}$ $\eta(\mu^-) = 0.7$
 $p_T(\mu^+) = 45 \text{ GeV}$ $\eta(\mu^+) = 2.2$

$M_{\mu\mu} = 87 \text{ GeV}$

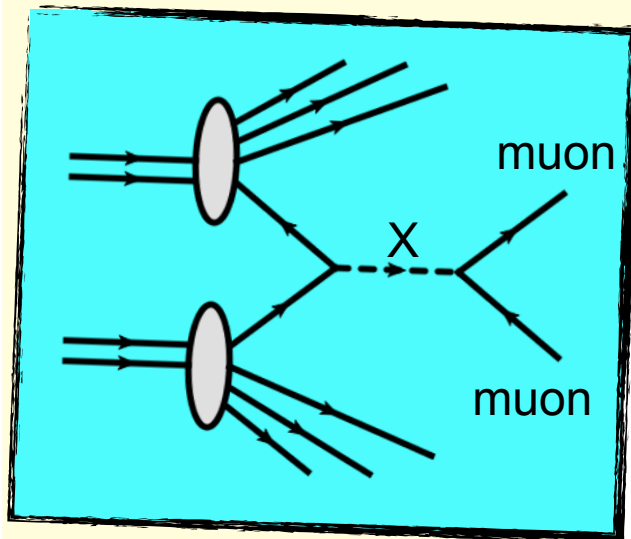
muon

**$Z \rightarrow \mu\mu$ candidate
in 7 TeV collisions**

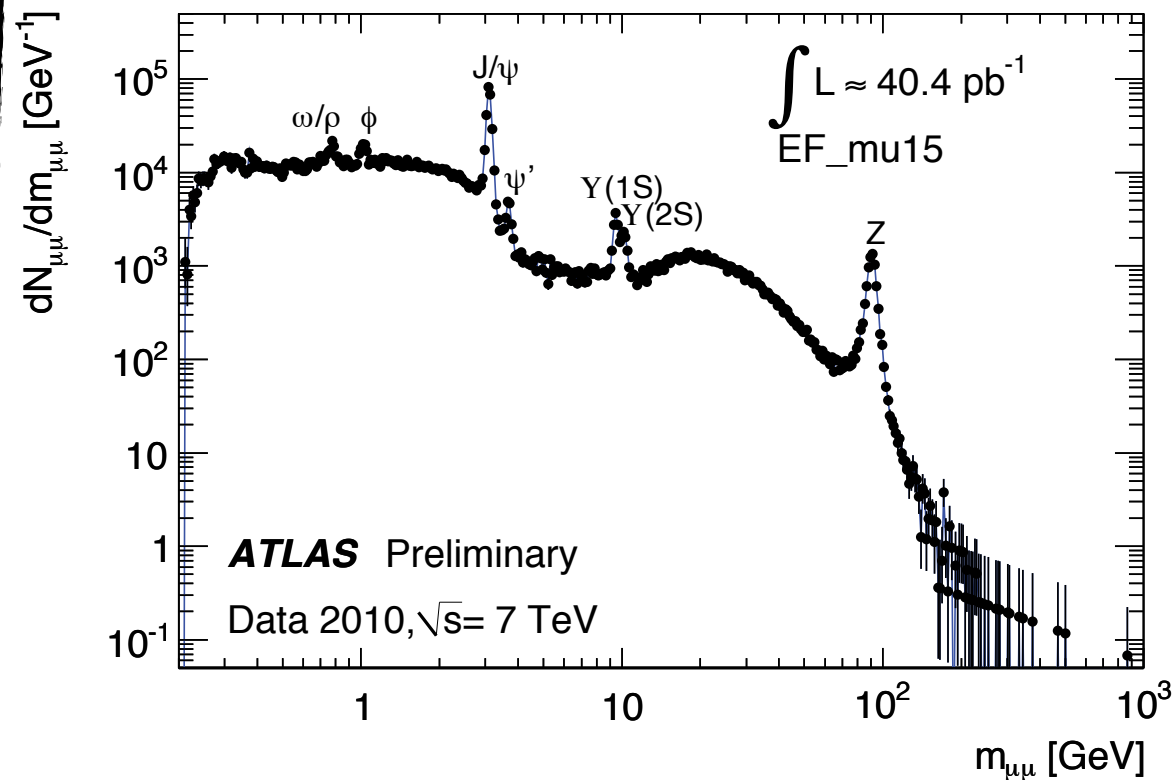
Observatie van het Z-boson,
ontdekt in 1983

Her-ontdekking deeltjes fysica 20^e eeuw

- Eindtoestand met twee muonen in de detector

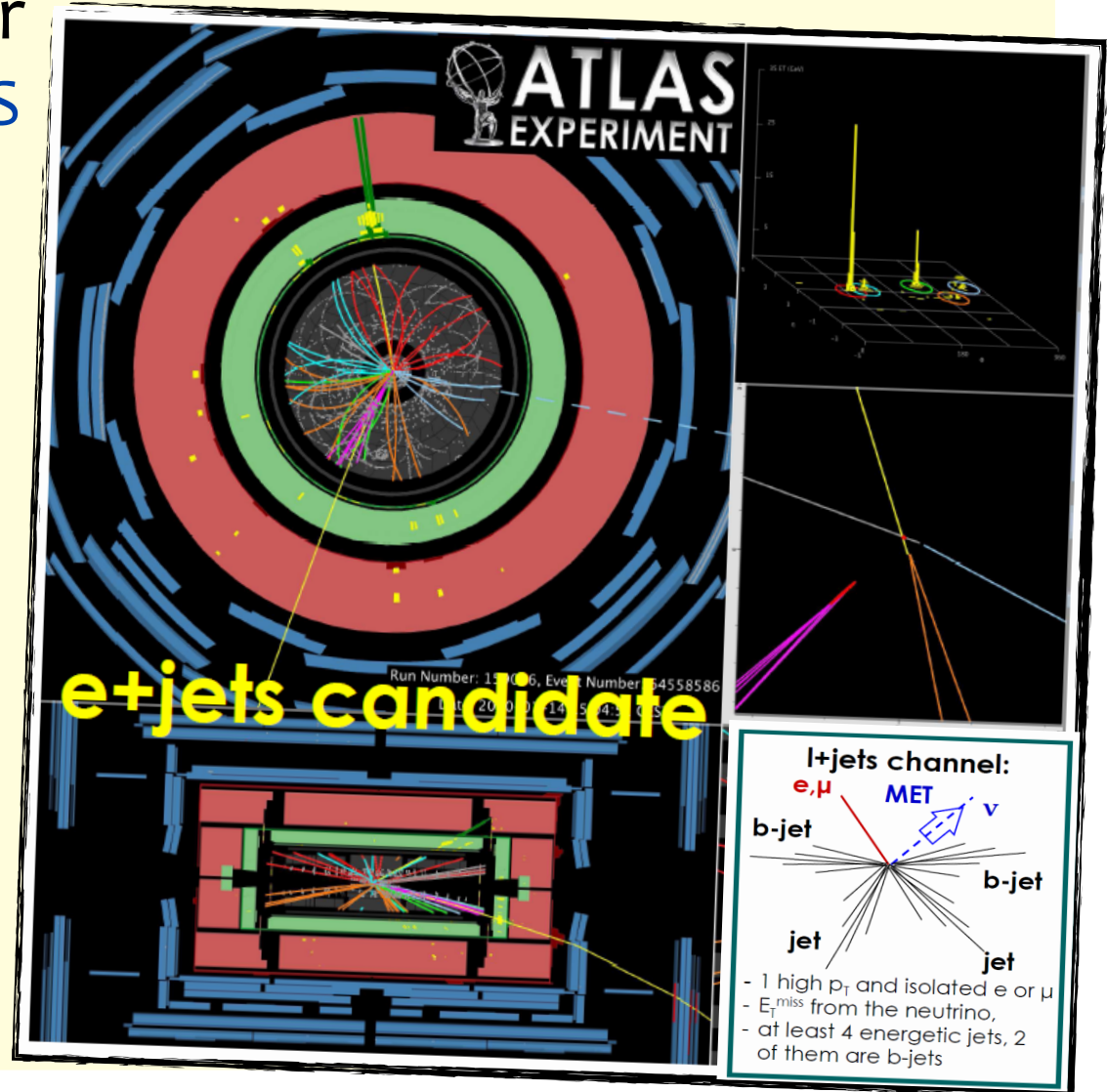
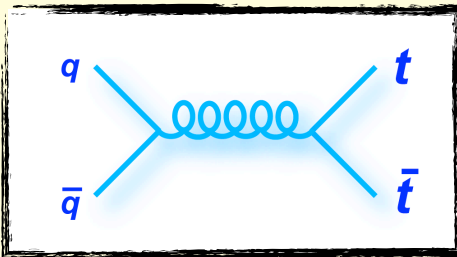
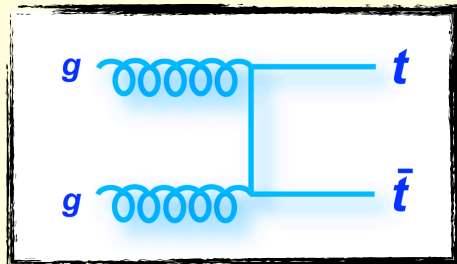
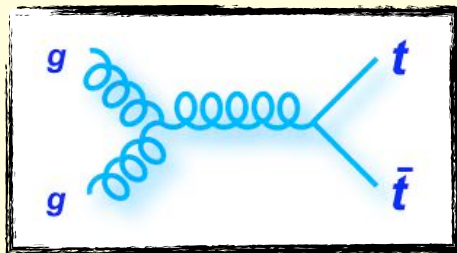


Alle bekende
deeltjes zijn
teruggevonden!



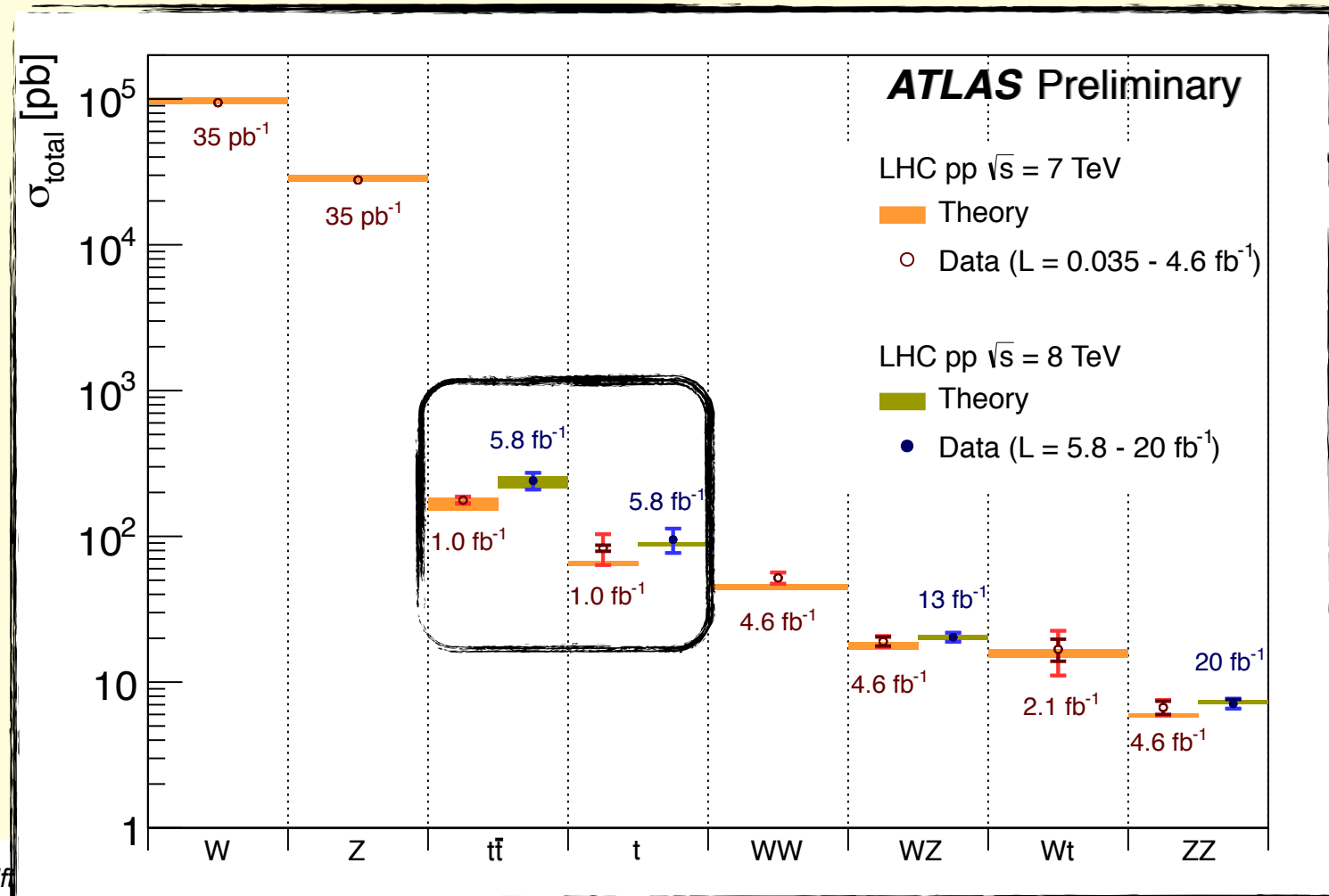
Bekende 'processen' in Standaard Model

- Complexe signatuur
 - top-quarks in ATLAS

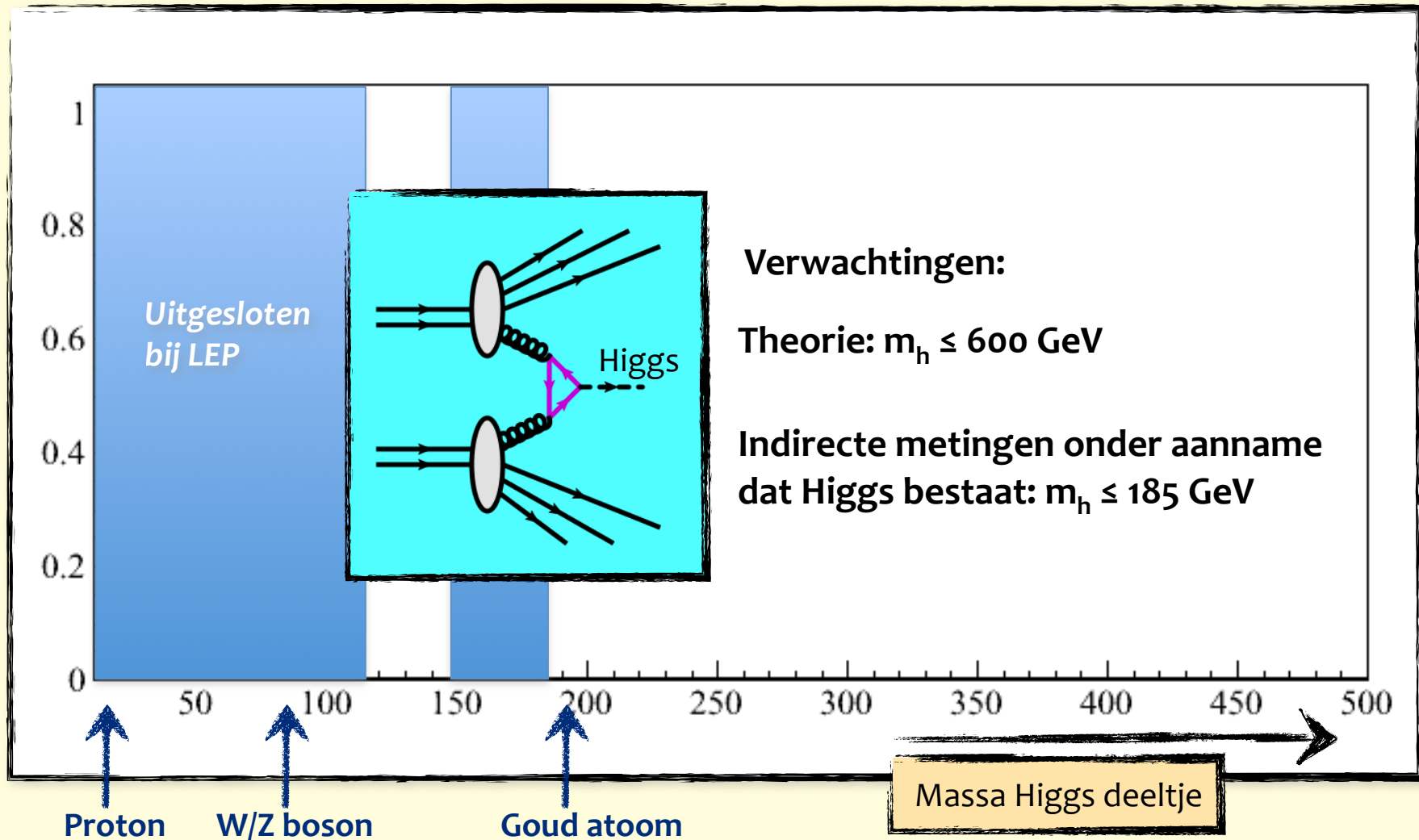


Standaard Model nog altijd superieur

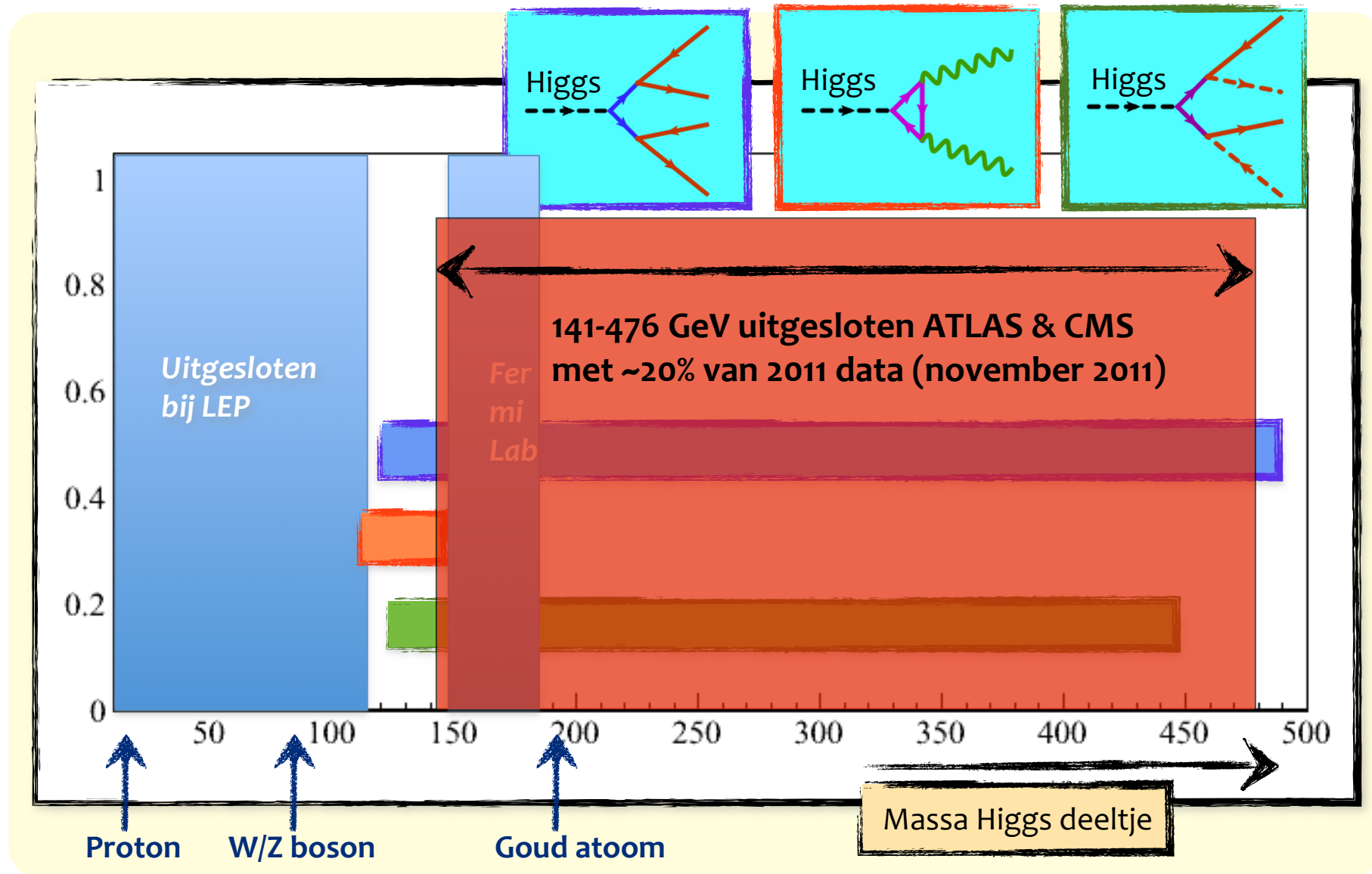
- Uitstekende overeenkomst metingen met theorie
 - voor alle ‘sleutel processen’



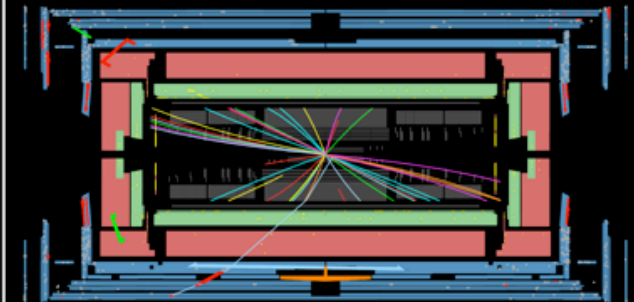
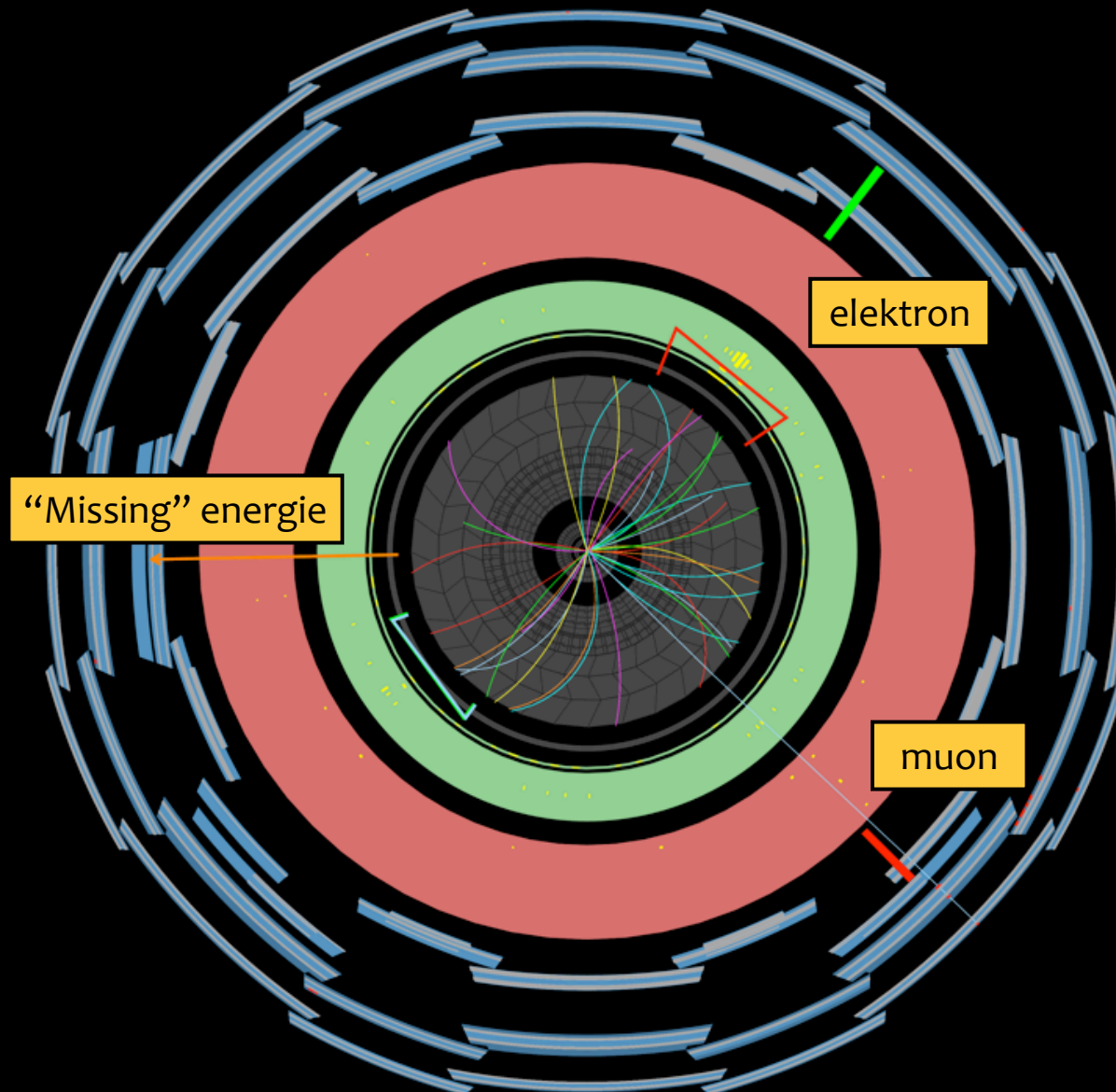
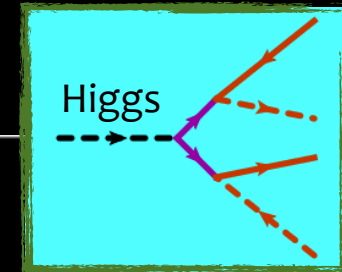
Higgs - << in creatio >> physics



Uiteenvallen van Higgs - scenario's



$H \rightarrow WW^* \rightarrow 2 \text{ leptonen} + 2 \text{ neutrinos}$

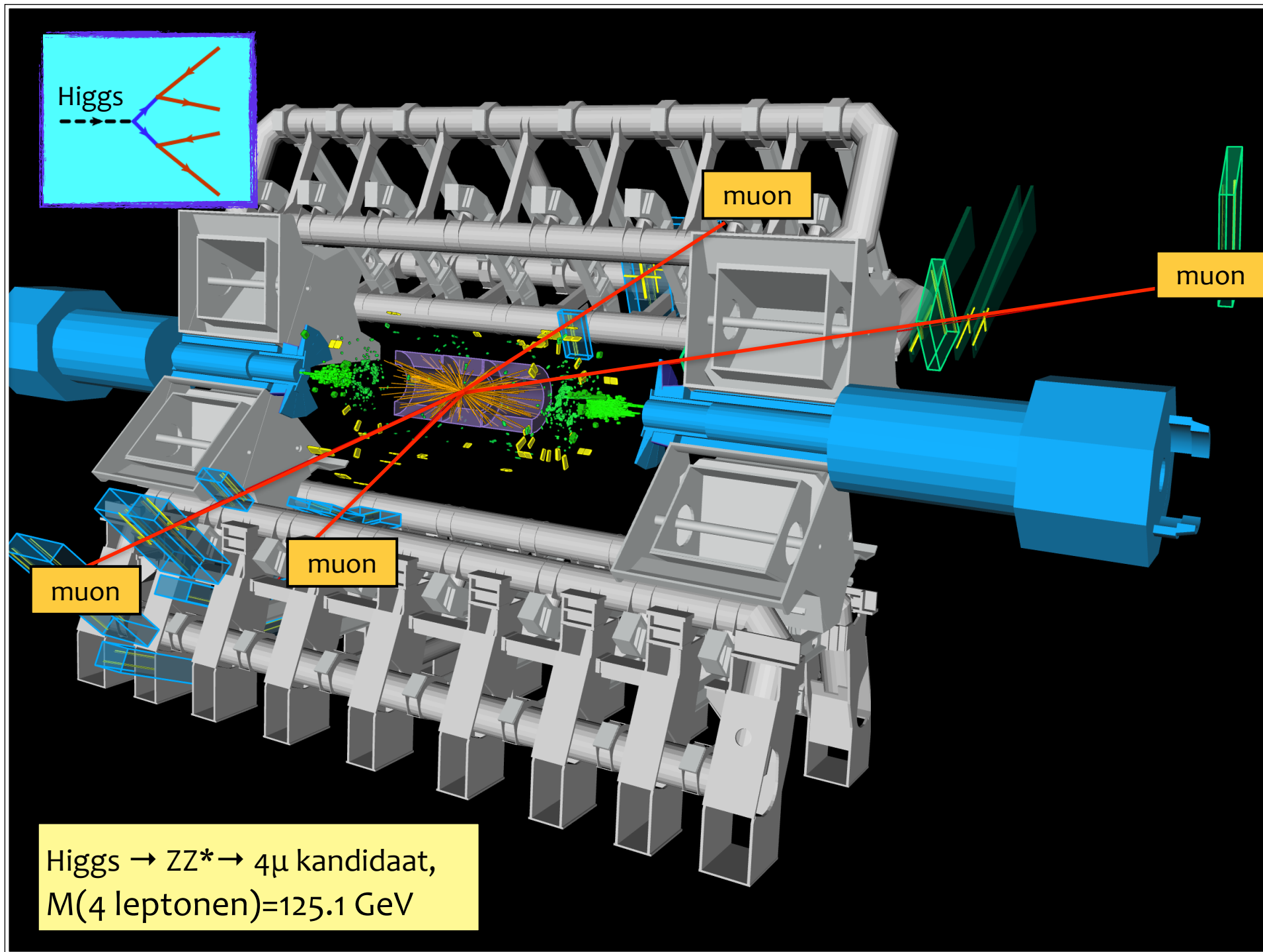


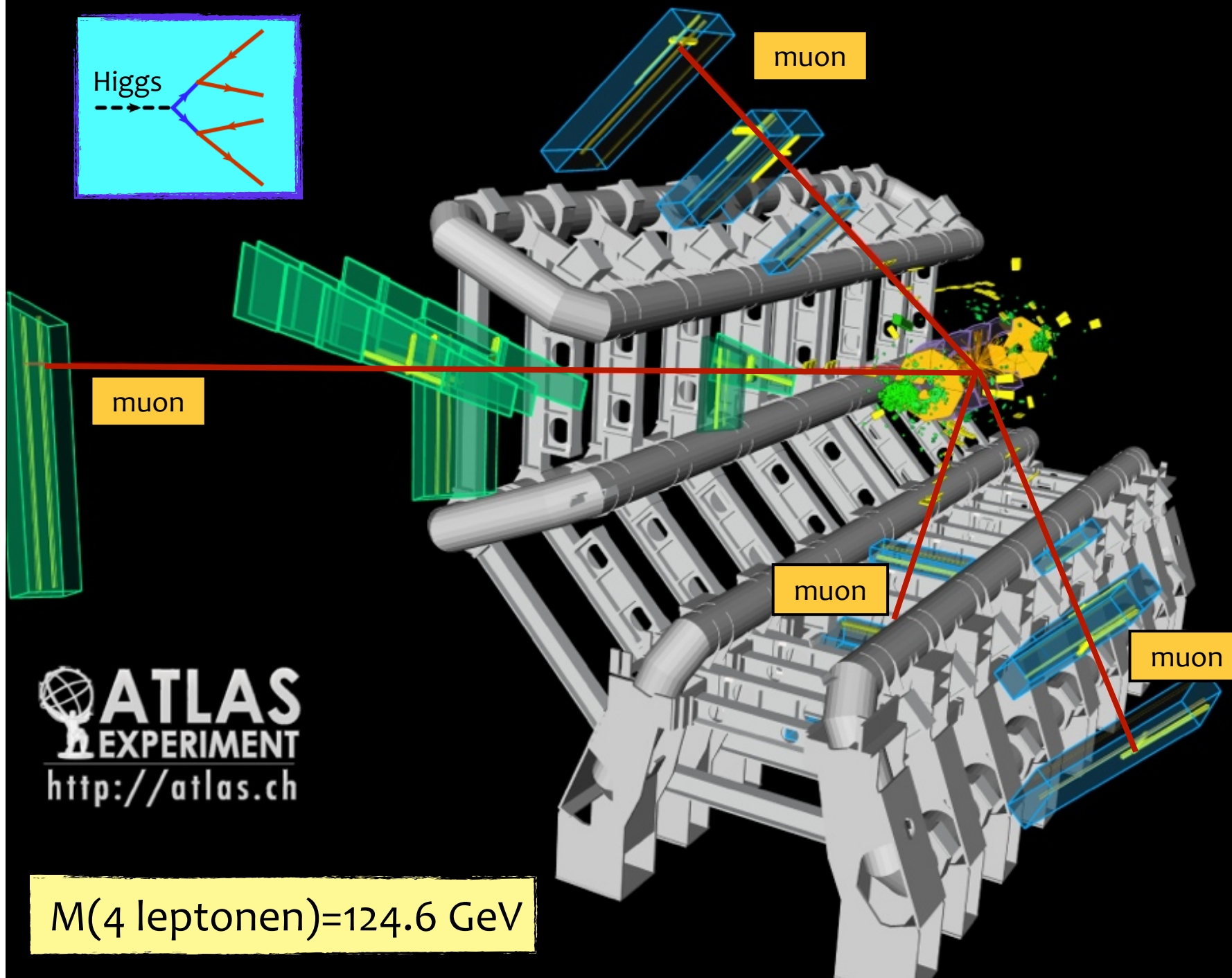
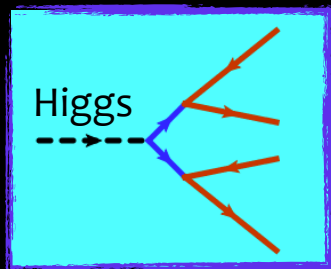
 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 189483, Event Number: 90659667

Date: 2011-09-19 10:11:20 CEST

NIKHEF



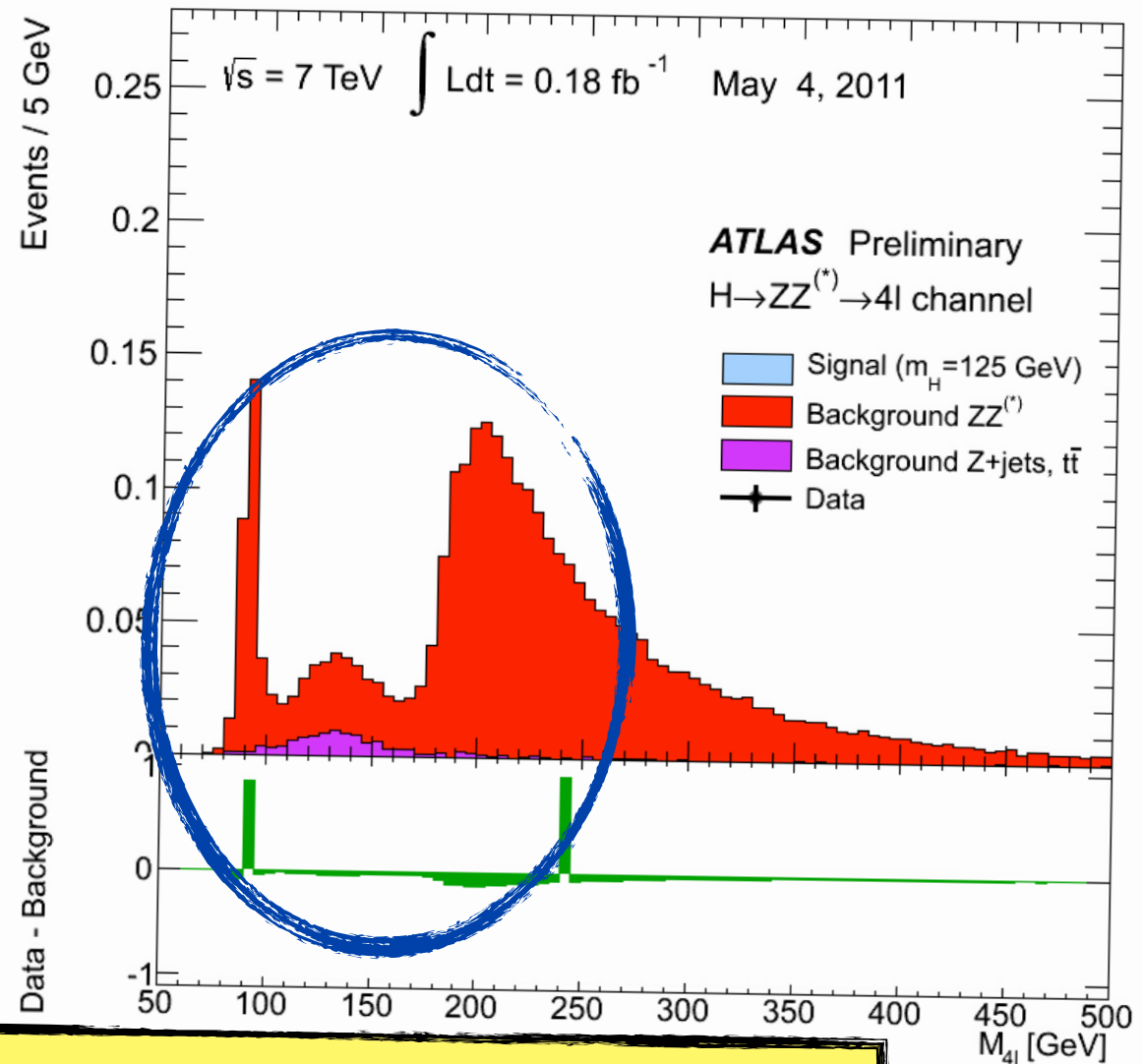
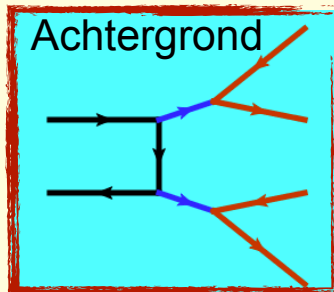
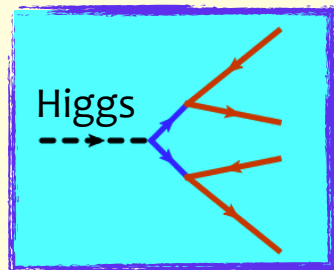


 **ATLAS**
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

$M(4 \text{ leptonen}) = 124.6 \text{ GeV}$

4-lepton invariante massa - meer data!

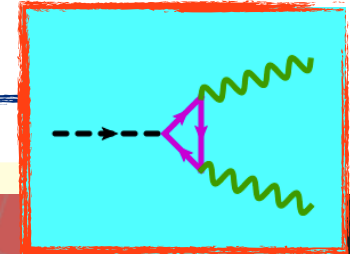
- Verzamelen van 'statistiek'
 - elk filmbeeld meer botsingen



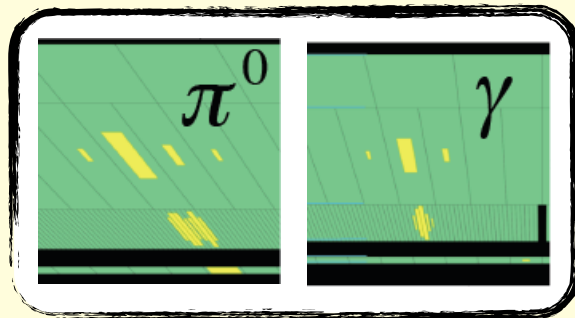
Onmiskenbaar nieuw deeltje!

Higgs in 2 fotonen

$$H \rightarrow \gamma + \gamma$$

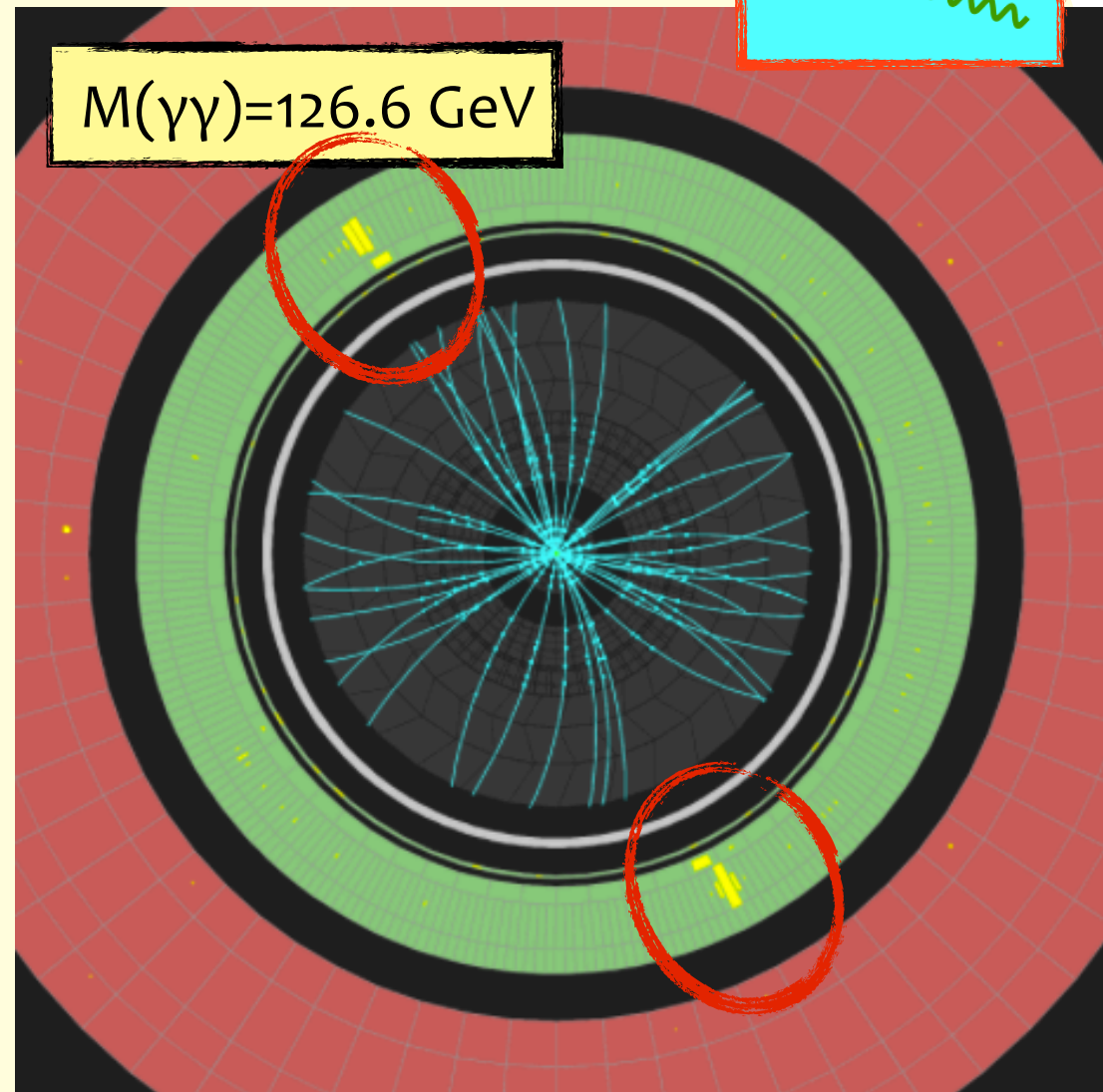
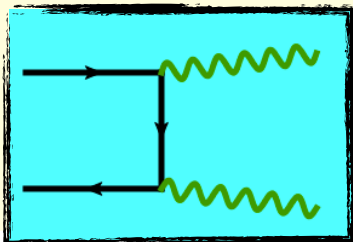


- Achtergrond
 - ‘Fake’ fotonen
 - bv verval pion

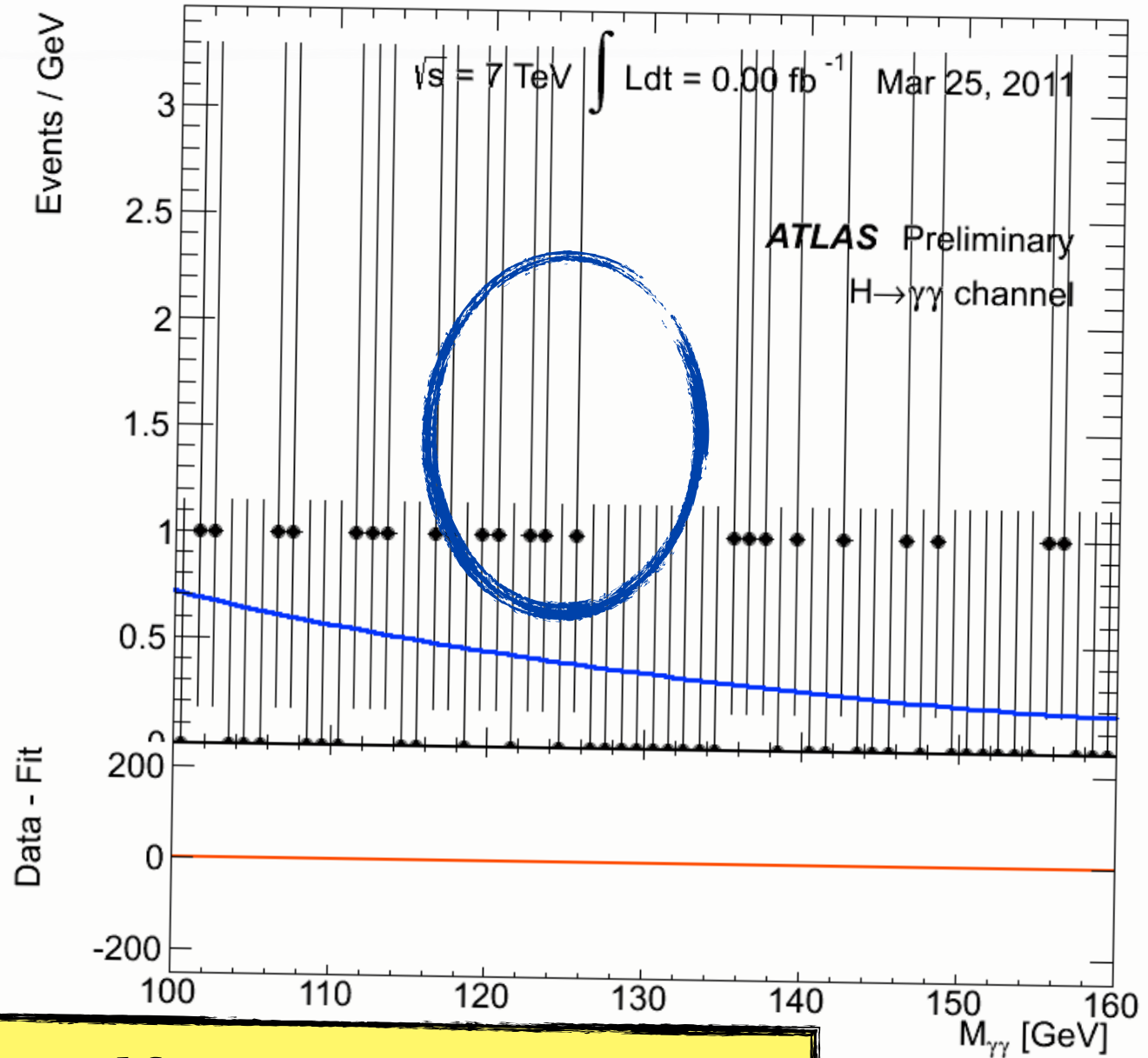
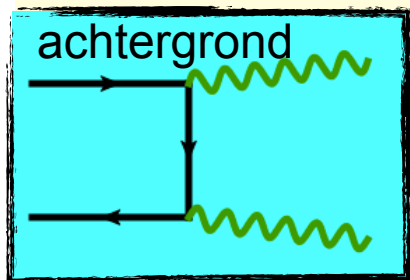
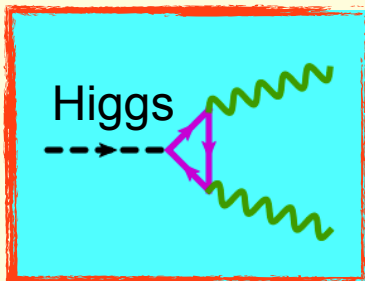


Energie depositie in calorimeter

- ‘Achtergrond’
 - niet van Higgs



2 fotonen



Hetzelfde deeltje? Higgs?

Wereldkundig: 4 juli 2012





Strategie na 4 juli 2012

welke rol speelt het deeltje precies in het Standaard Model?

- Fundamentele vragen:

Wat zijn de quantum-getallen van dit deeltje?

Is de 'sterkte van koppeling' evenredig met de massa?

Is het een elementair deeltje of een gebonden toestand?

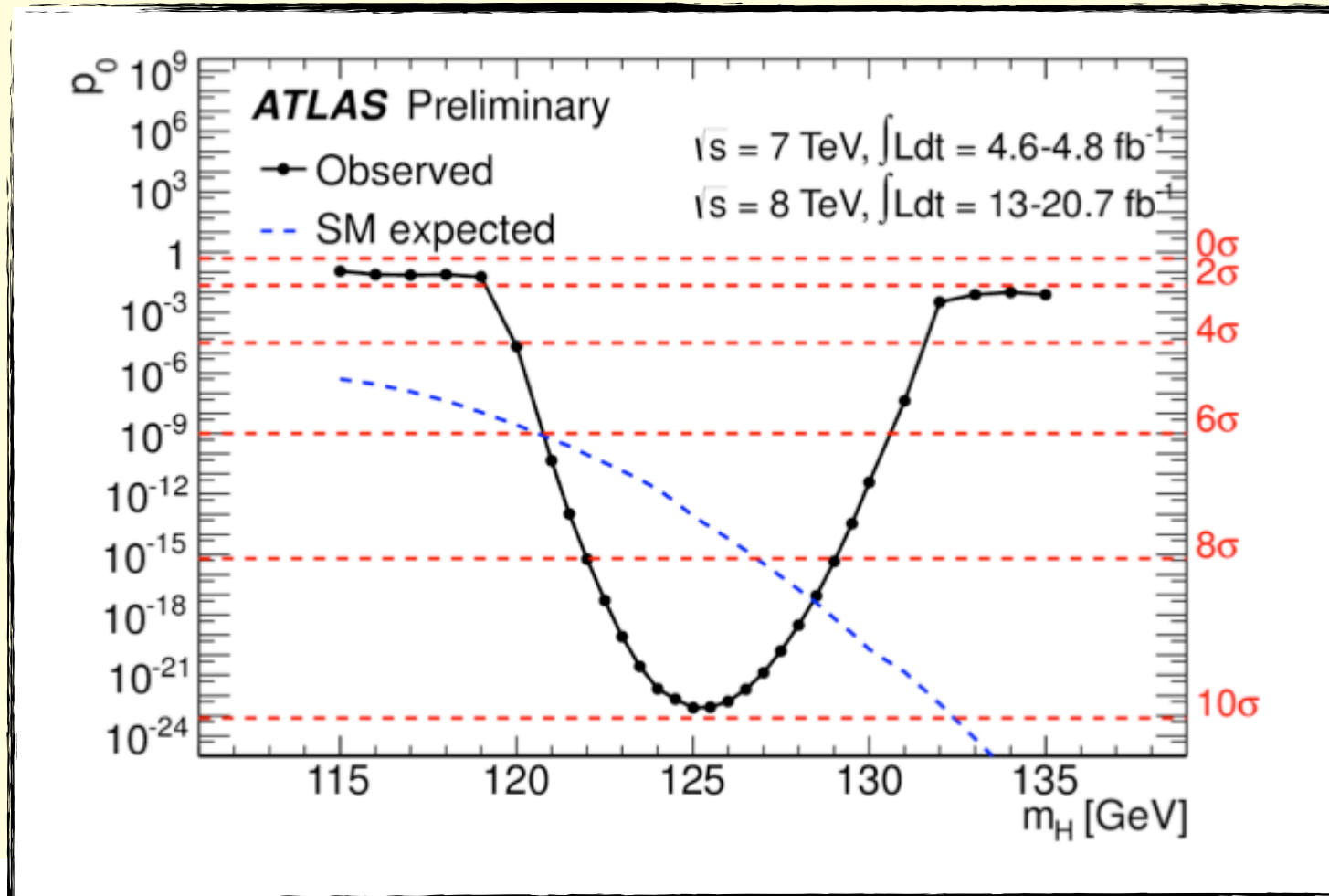
Zijn er nog meer van dit type deeltjes?

Is het een deel van een nog onbekende aanvulling van het Standaard Model?

Is het de Higgs of iets anders?

April 2013: huidige stand van zaken

- ATLAS gecombineerde resultaat
 - statistische significantie signaal gegroeid tot 10σ

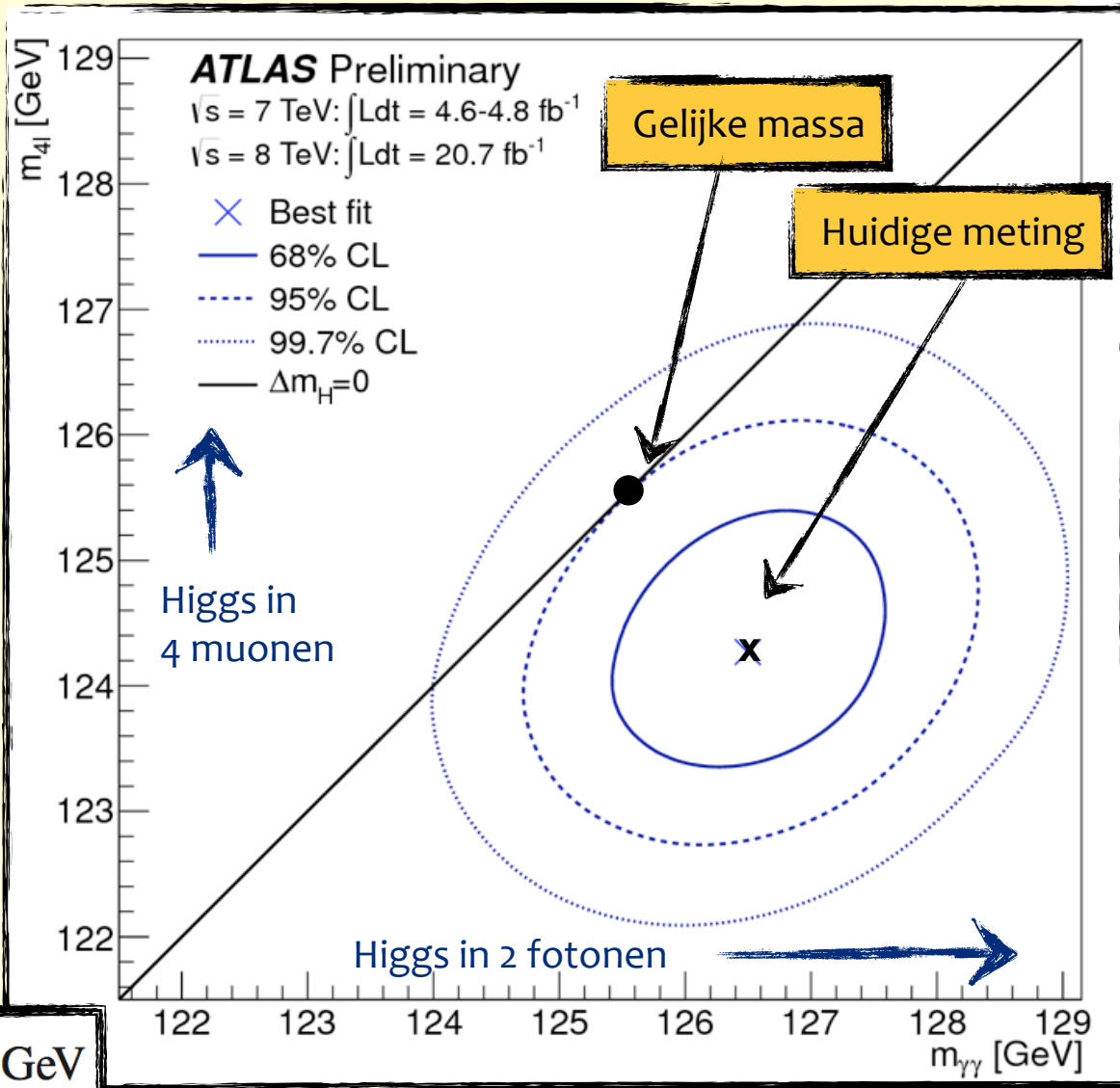


Hetzelfde deeltje in twee vervalskanalen?

- Meting van M_{Higgs}
- Resultaten voor verval in 2 fotonen of 4 muonen niet precies gelijk
 - 2 sigma effect

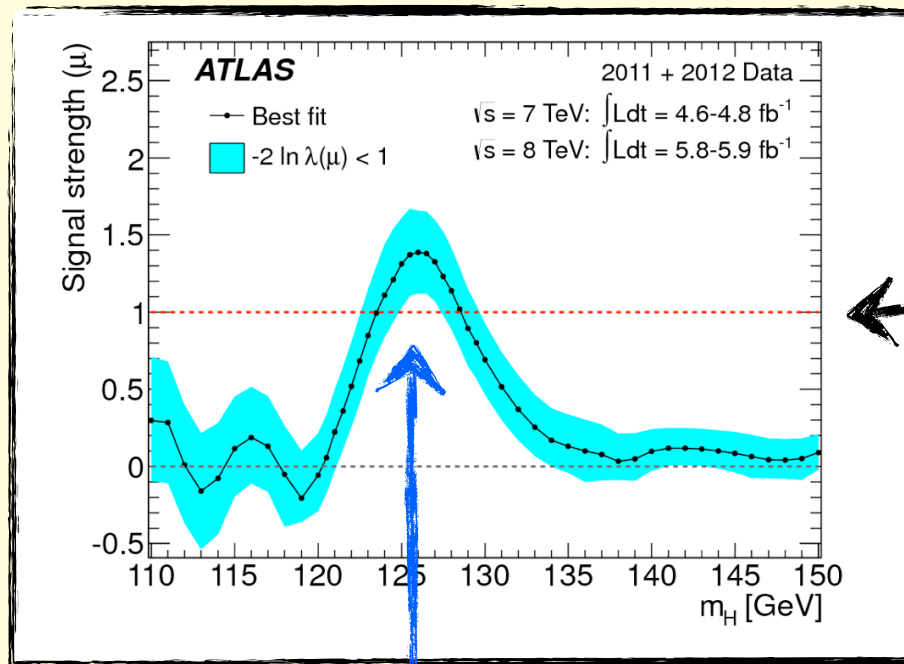
gecombineerd:

$$m_H = 125.5 \pm 0.2 \text{ (stat)}^{+0.5}_{-0.6} \text{ (sys)} \text{ GeV}$$



Productie van Higgs

- Wordt de hoeveelheid Higgs - deeltjes voorspelt?



Higgs signaal

De theorie voorspelt een sterkte van één.

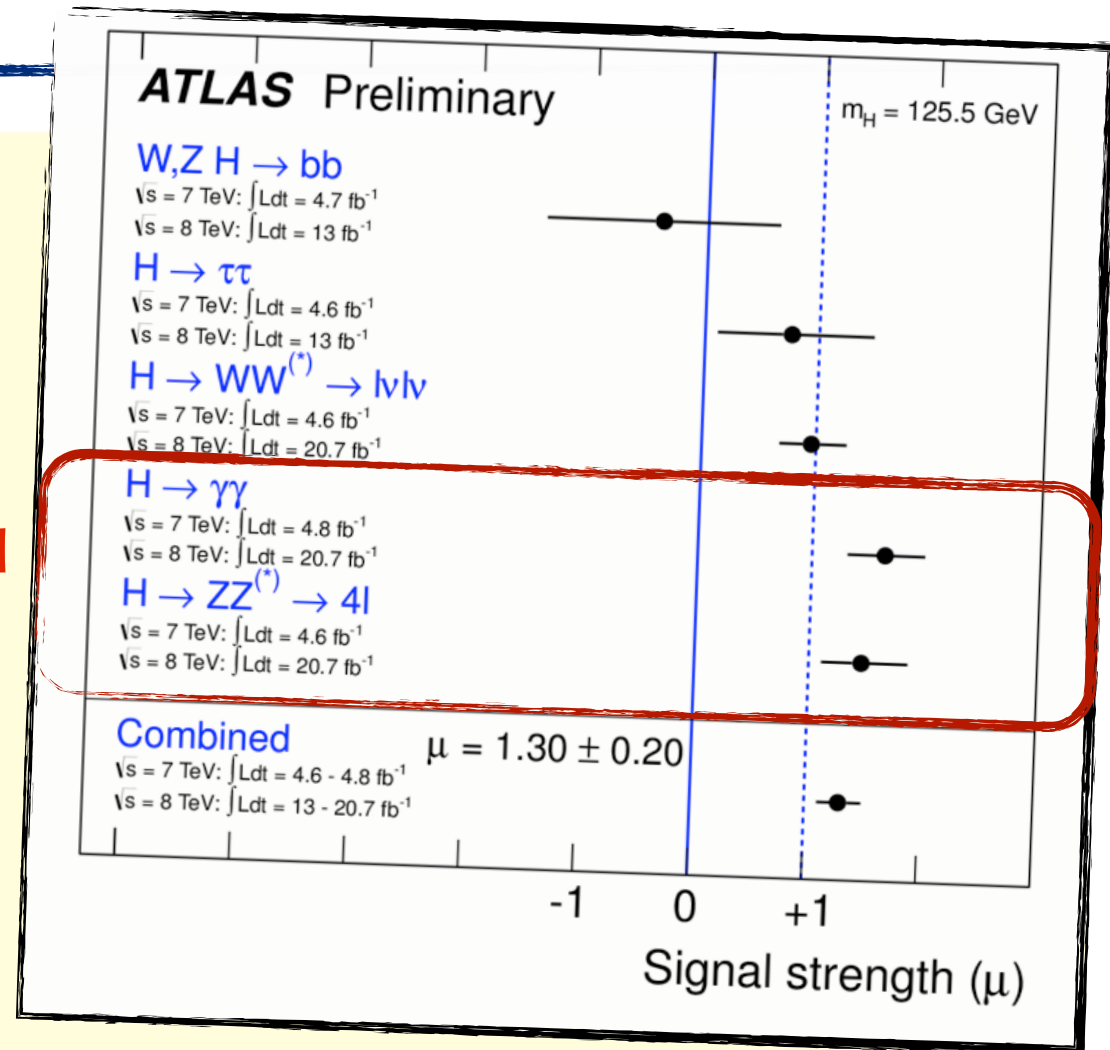
***Er lijken iets te veel Higgs deeltjes gevonden te worden:
experimentele onzekerheid nog groot***



Signaal sterkte

- Higgs productie per vervals kanaal
 - iets te veel Higgs voornamelijk in
 - Twee foton verval
 - ZZ verval
 - toeval of niet?

Verder meten vanaf 2015

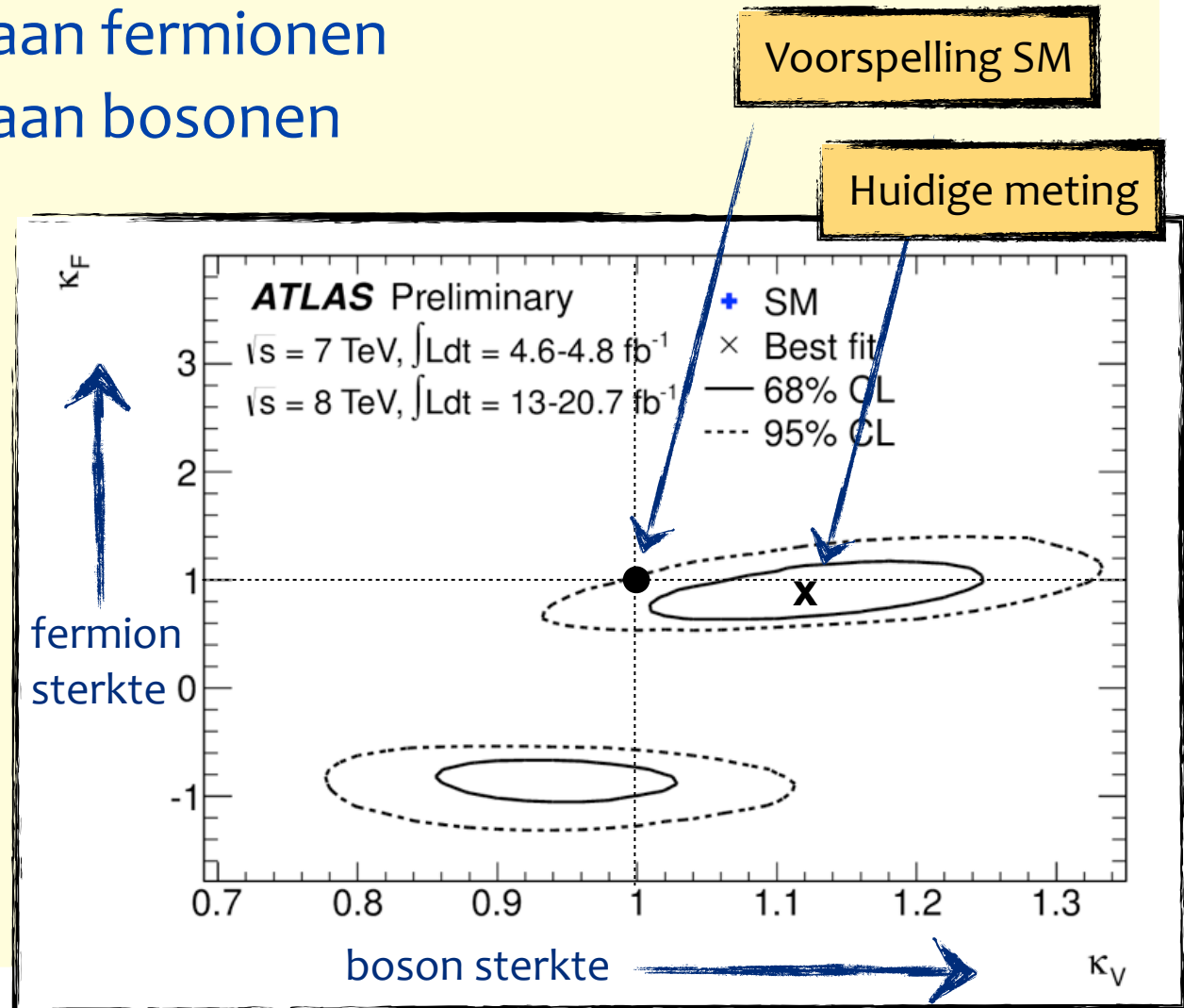


Gecombineerde signaal sterkte $\mu = 1.30 \pm 0.13 \text{ (stat)} \pm 0.14 \text{ (syst)}$

Overeenstemming Standaard Model heeft waarschijnlijkheid 8%

Higgs 'koppeling' aan fermionen en bosonen

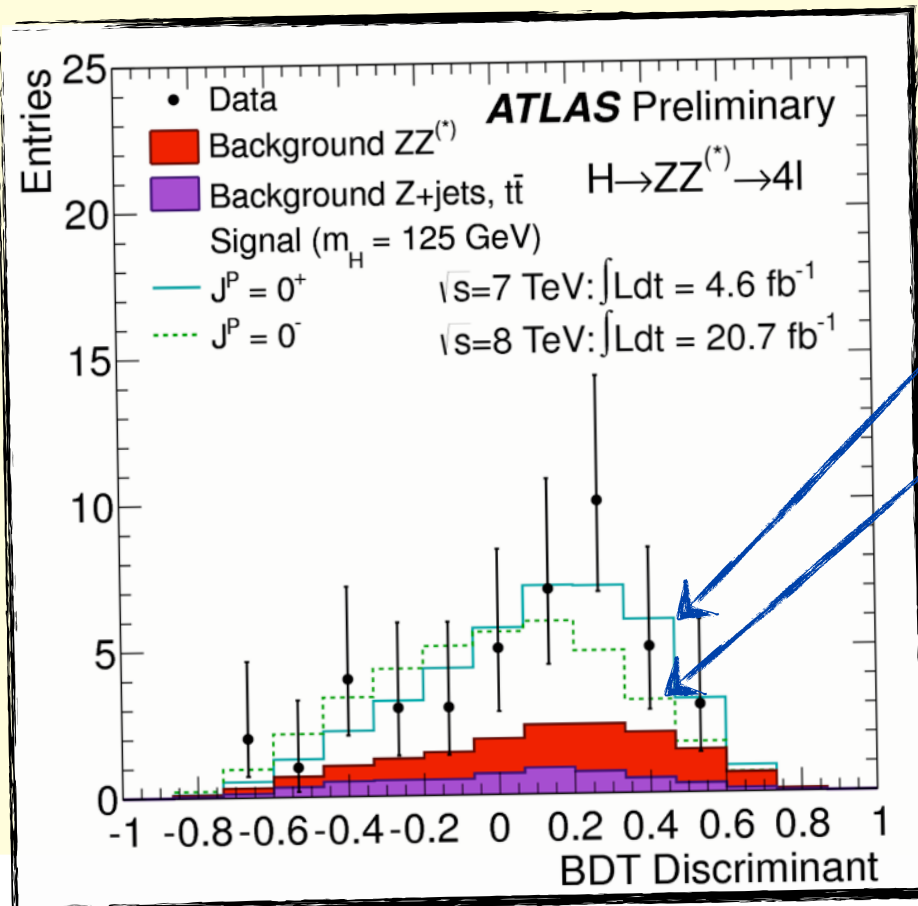
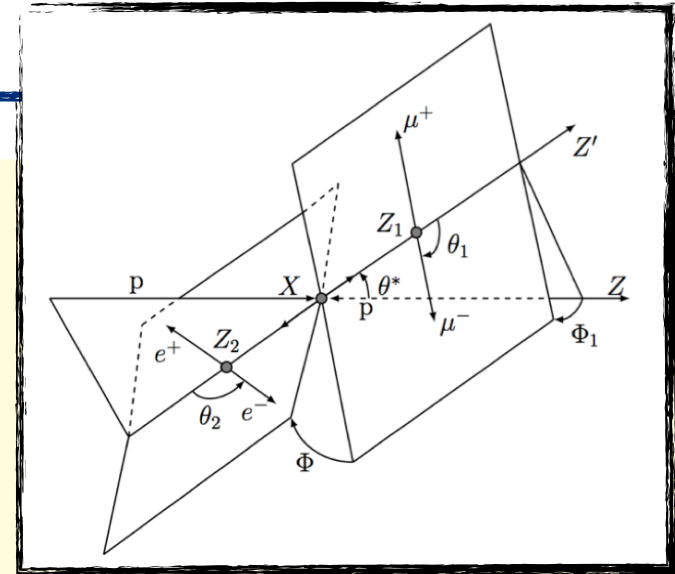
- Stel je wijzigt theorie met 2 parameters
 - Higgs sterkte aan fermionen
 - Higgs sterkte aan bosonen



Higgs koppeling
aan bosonen te sterk?
Toeval?

Higgs intrinsieke eigenschap

- Voorspelling SM:
 - Higgs deeltje is scalar - heeft spin 0
 - zichtbaar in geometrie van verval

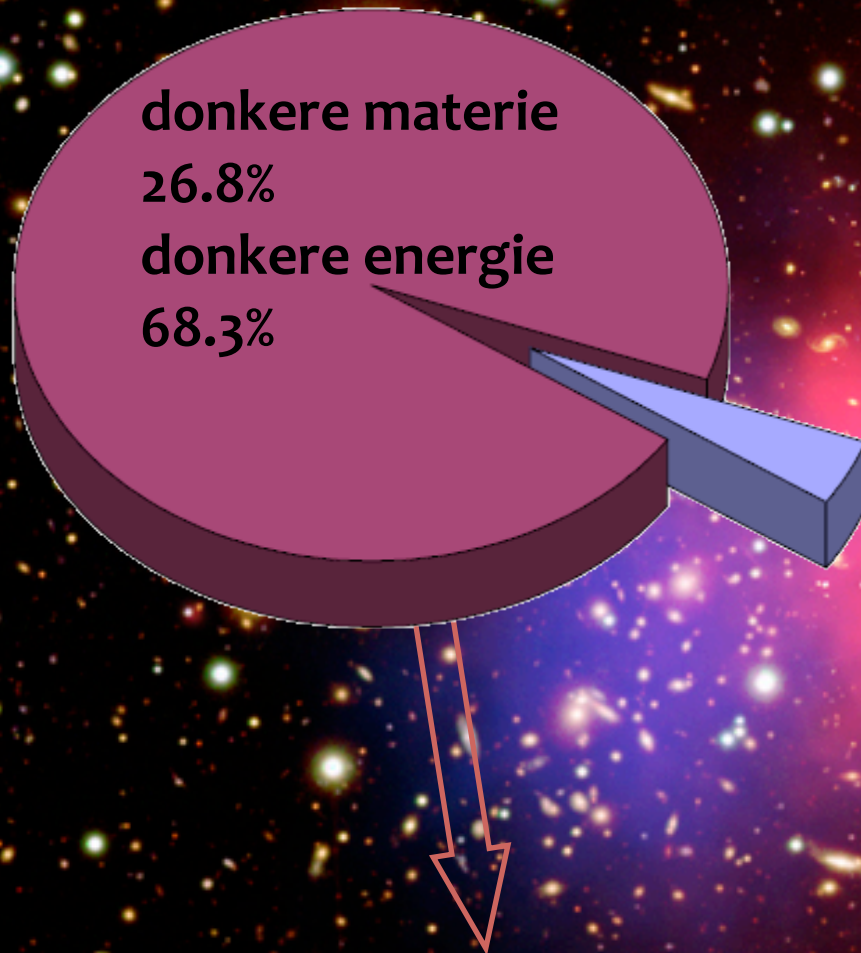


Standaard Model

Andere theorie, e.g. supersymmetrie

Optimalisatie gaande -
Vooralsnog geringe
'gevoeligheid';
Meer data nodig om
uitsluitel te geven

Wat brengt het universum?



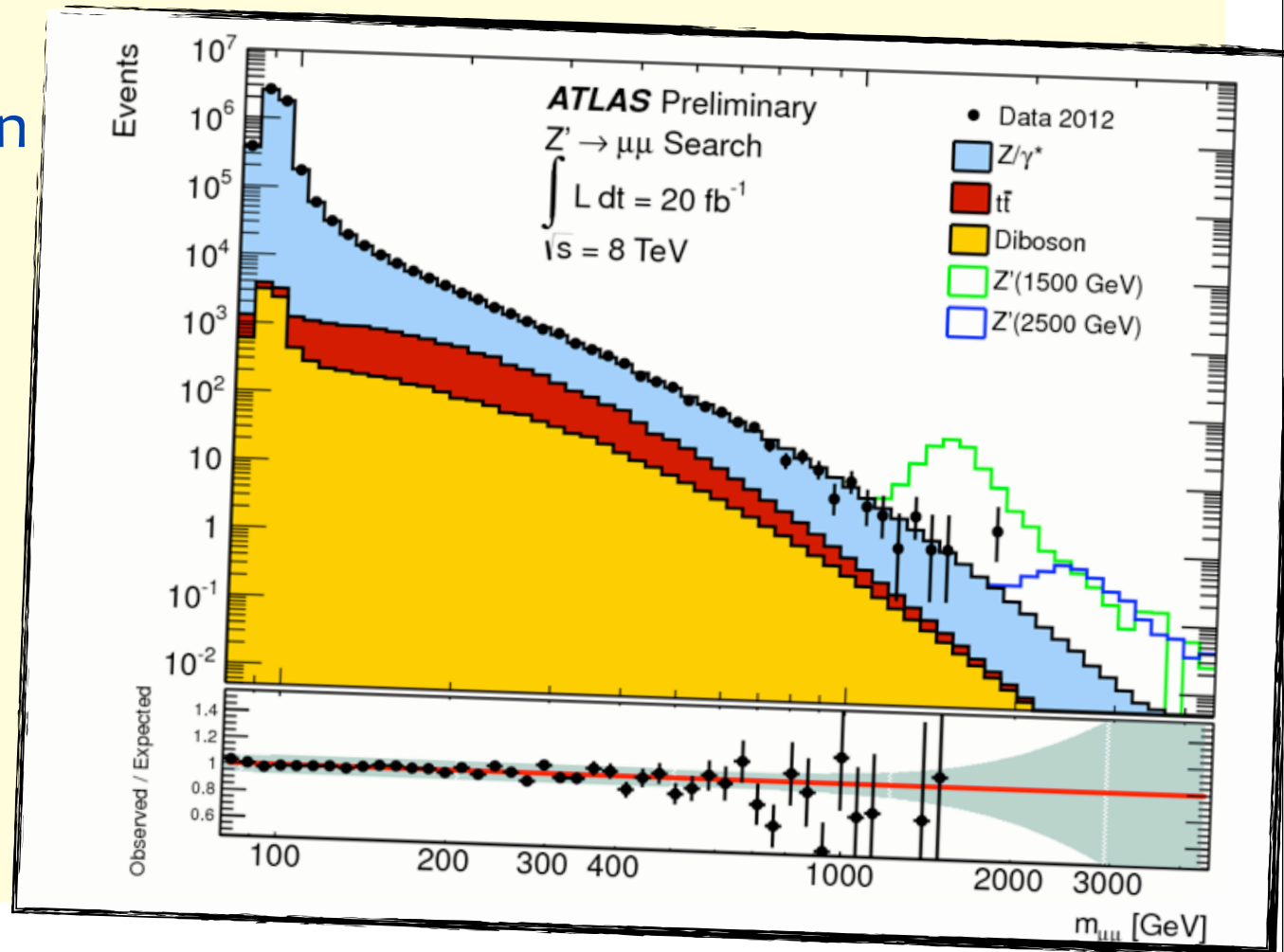
‘Standaard Model’ deeltjes:
quarks en leptonen

Botsing van
twee sterrenstelsels

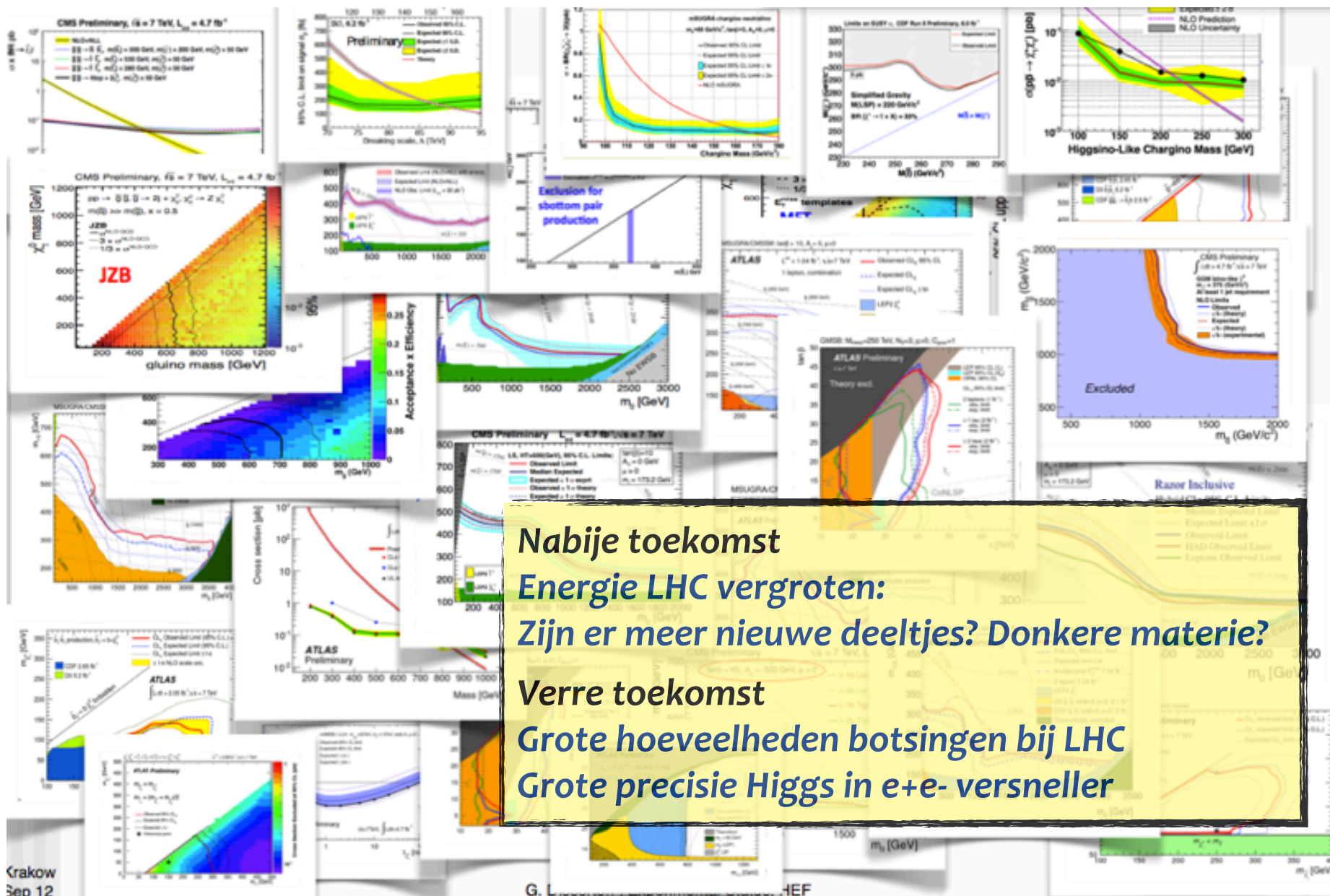
Enorme hoeveelheid ‘exotische materie’ in heelal
Laat deze materie zich kennen in de LHC?

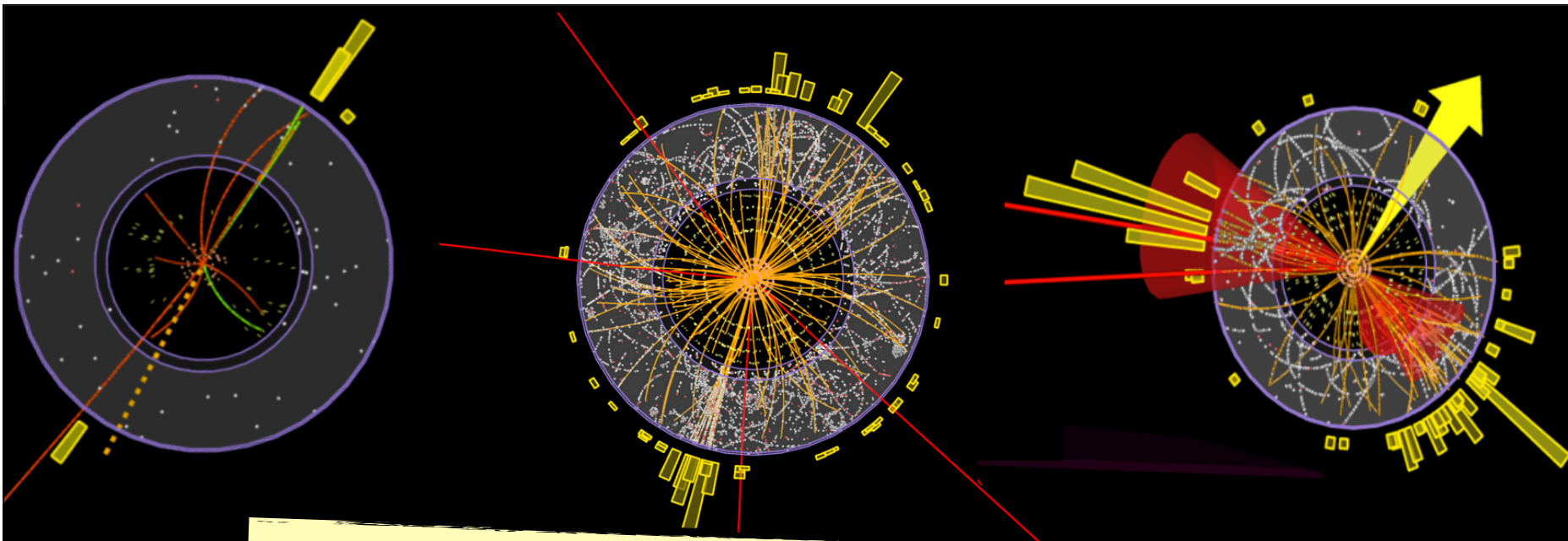
Nieuwe deeltjes behalve de Higgs?

- Verleggen grenzen met LHC
 - Nieuwe pieken als signaal voor bestaan onbekende deeltjes
 - vooralsnog *niets* gevonden



We zijn op zoek... *stay tuned*





Higgs? Fantastische ontdekking!

Nieuwe fundamentele vragen:

Wat betekent het Higgs veld voor het Universum?

Raadsel van donkere materie en energie?