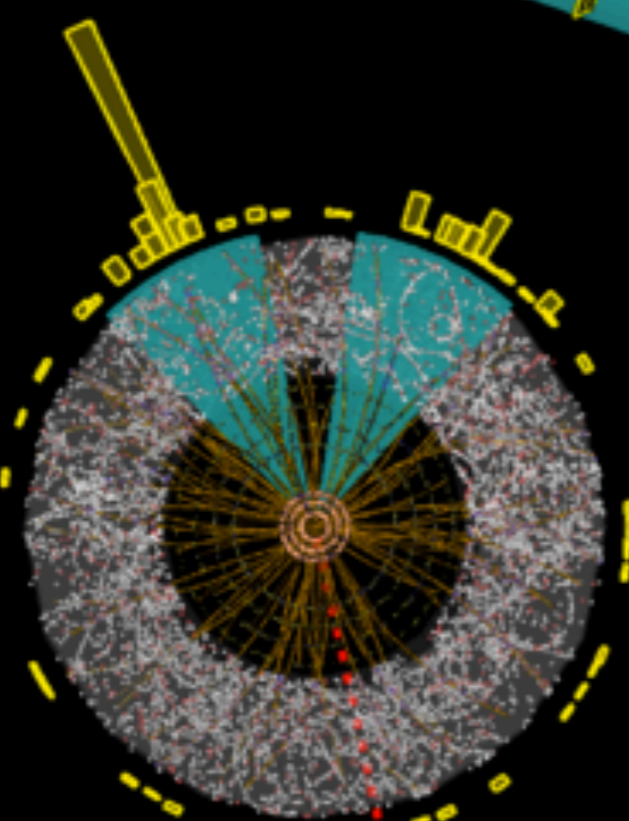


De LHC-experimenten, het Higgs-boson & donkere materie

Tristan du Pree (CERN)



DM?

Profielwerkstukscholieren
6 oktober – CERN, CH

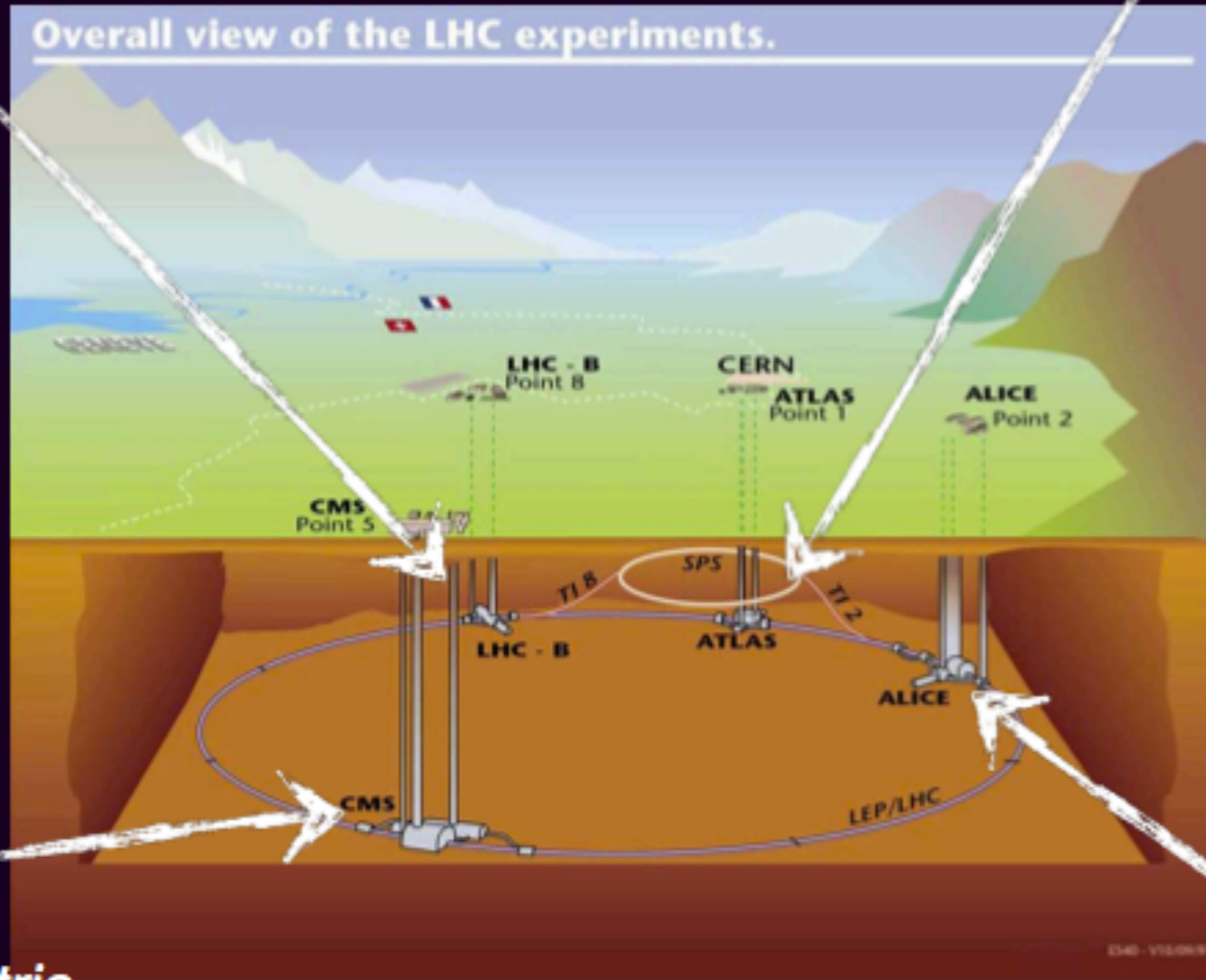
#DarkMatter

LHCb

- materie/anti-materie
- indirect: nieuwe deeltjes

ATLAS

- Higgs!
- Supersymmetrie
- materie/anti-materie
- exotische deeltjes
- ionen fysica
- donkere materie
-



CMS

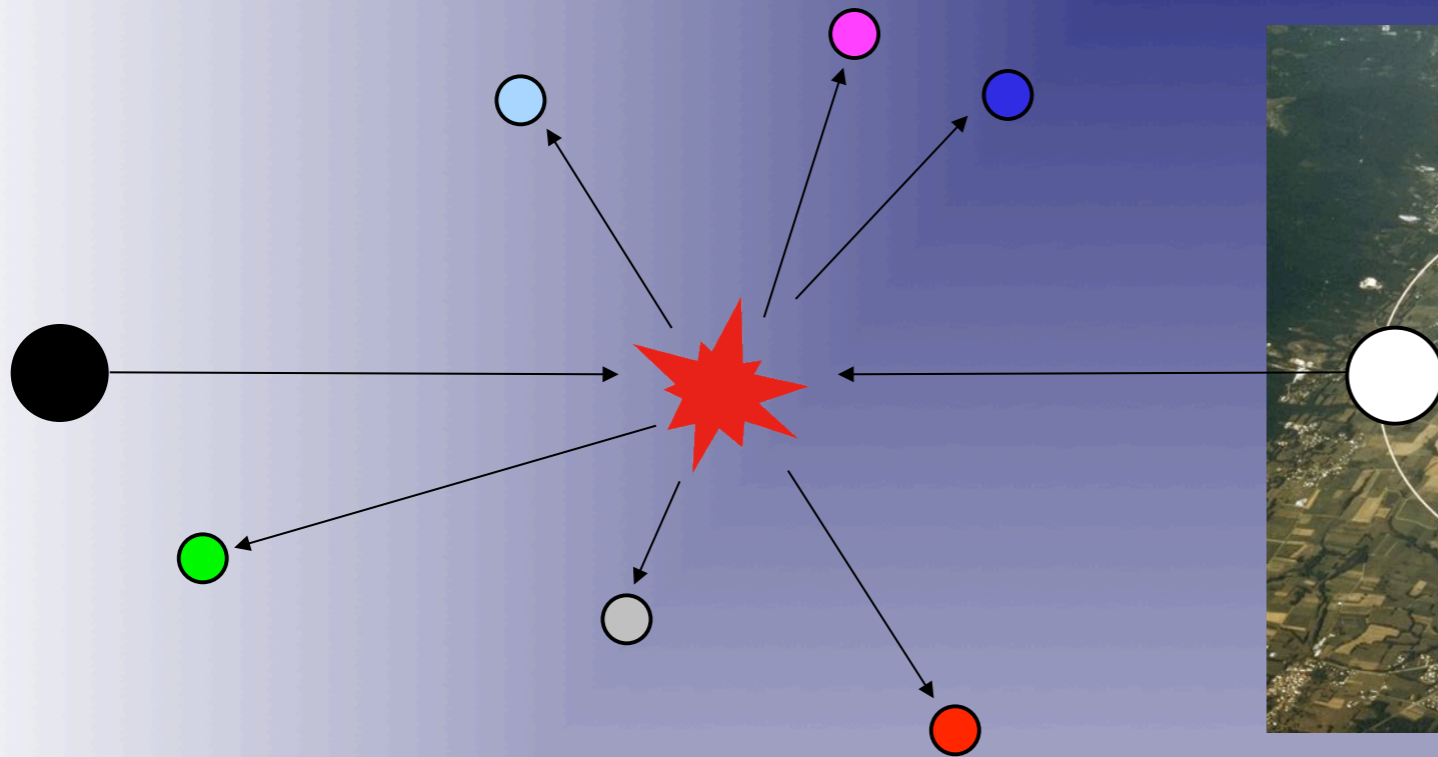
- Higgs!
- Supersymmetrie
- materie/anti-materie
- exotische deeltjes
- ionen fysica
- donkere materie
-

Alice

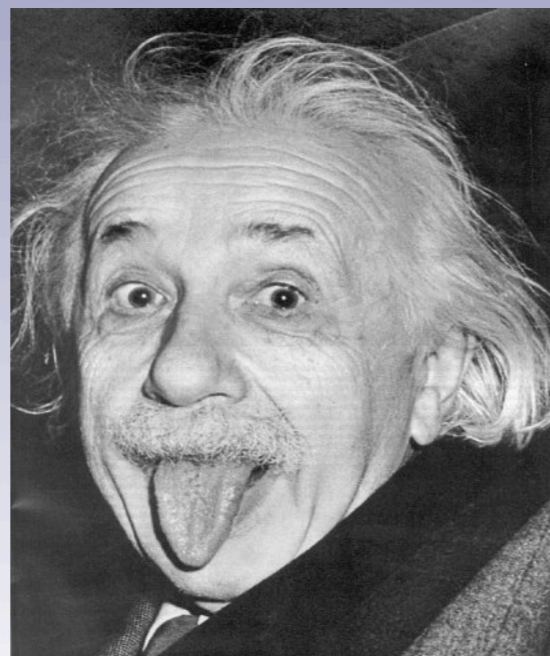
- ionen fysica

➔ De fundamentele bouwstenen!

Hoe maak je nieuwe deeltjes?



$$E=mc^2$$

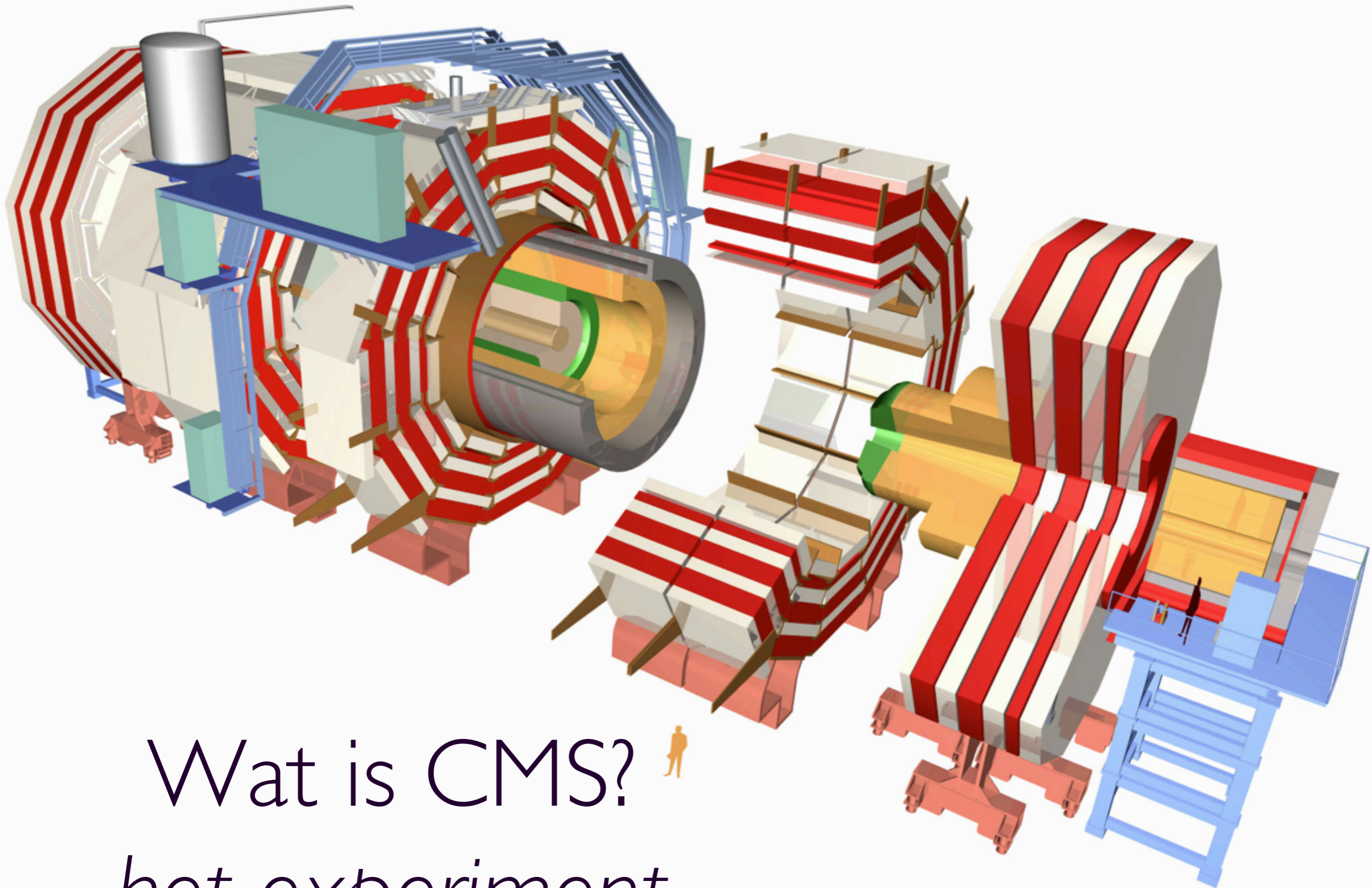


2010 - 2012: $E=8$ TeV

1 TeV = 1000 GeV

1 GeV = 1 proton-massa

Sinds 2015: $E=13$ TeV!



Wat is CMS? 
het experiment

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE

12,500 tonnes

SILICON TRACKERS

Pixel ($100 \times 150 \mu\text{m}$) $\sim 16\text{m}^2$ $\sim 66\text{M}$ channels
Microstrips ($80 \times 180 \mu\text{m}$) $\sim 200\text{m}^2$ $\sim 9.6\text{M}$ channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID

Niobium titanium coil carrying $\sim 18,000\text{A}$

MUON CHAMBERS

Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER

Silicon strips $\sim 16\text{m}^2$ $\sim 137,000$ channels

FORWARD CALORIMETER

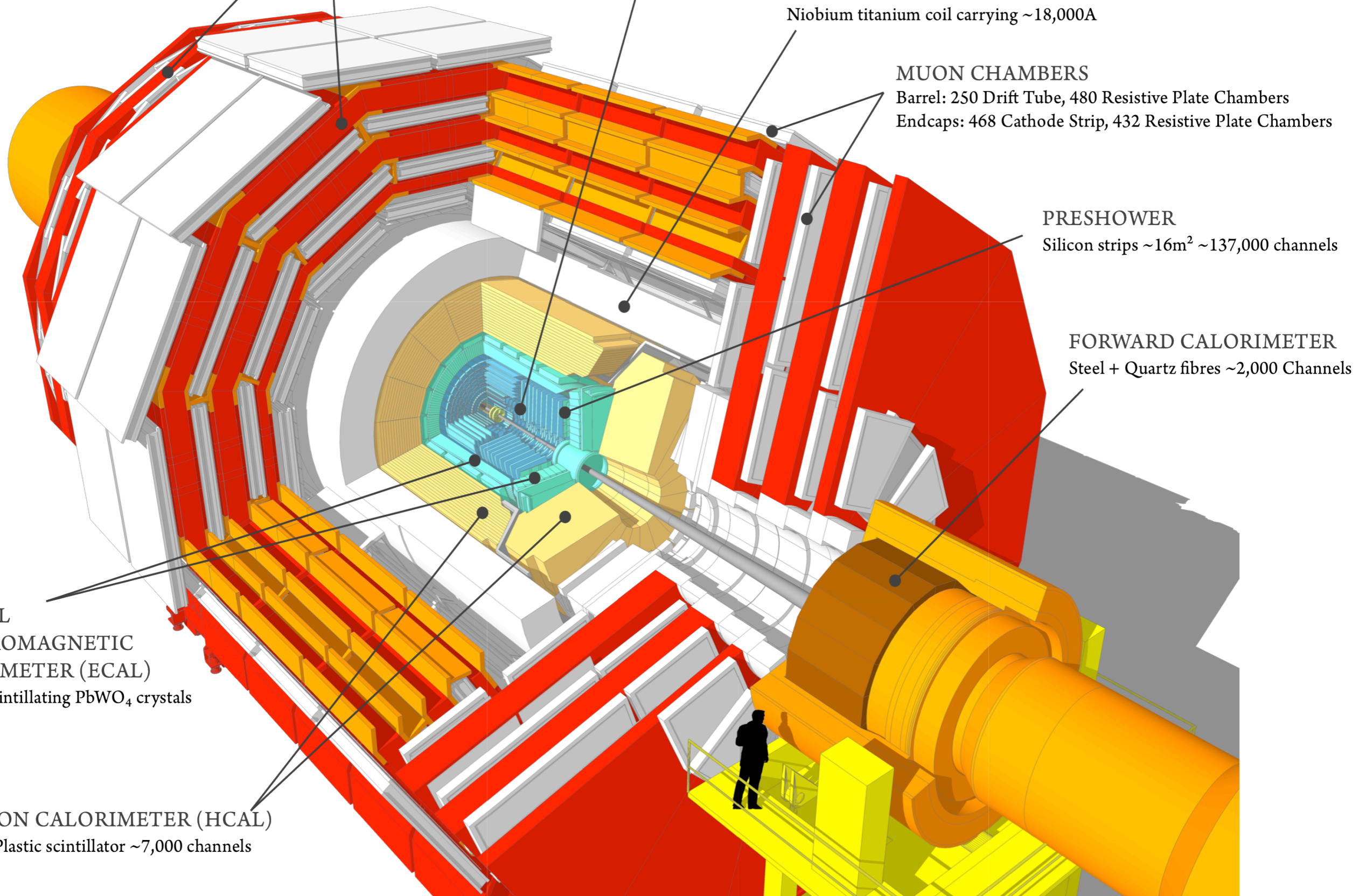
Steel + Quartz fibres $\sim 2,000$ Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)

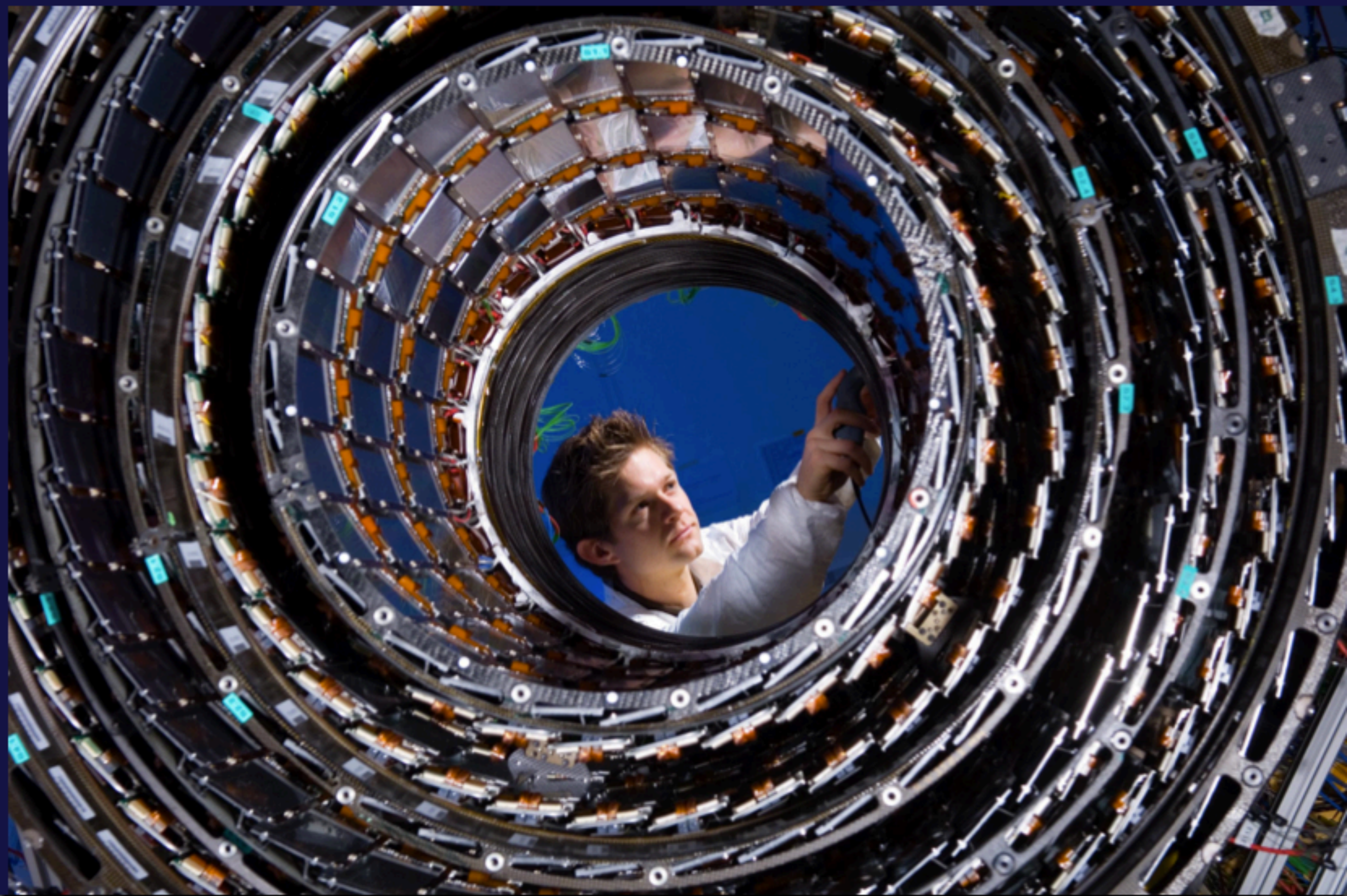
$\sim 76,000$ scintillating PbWO_4 crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)

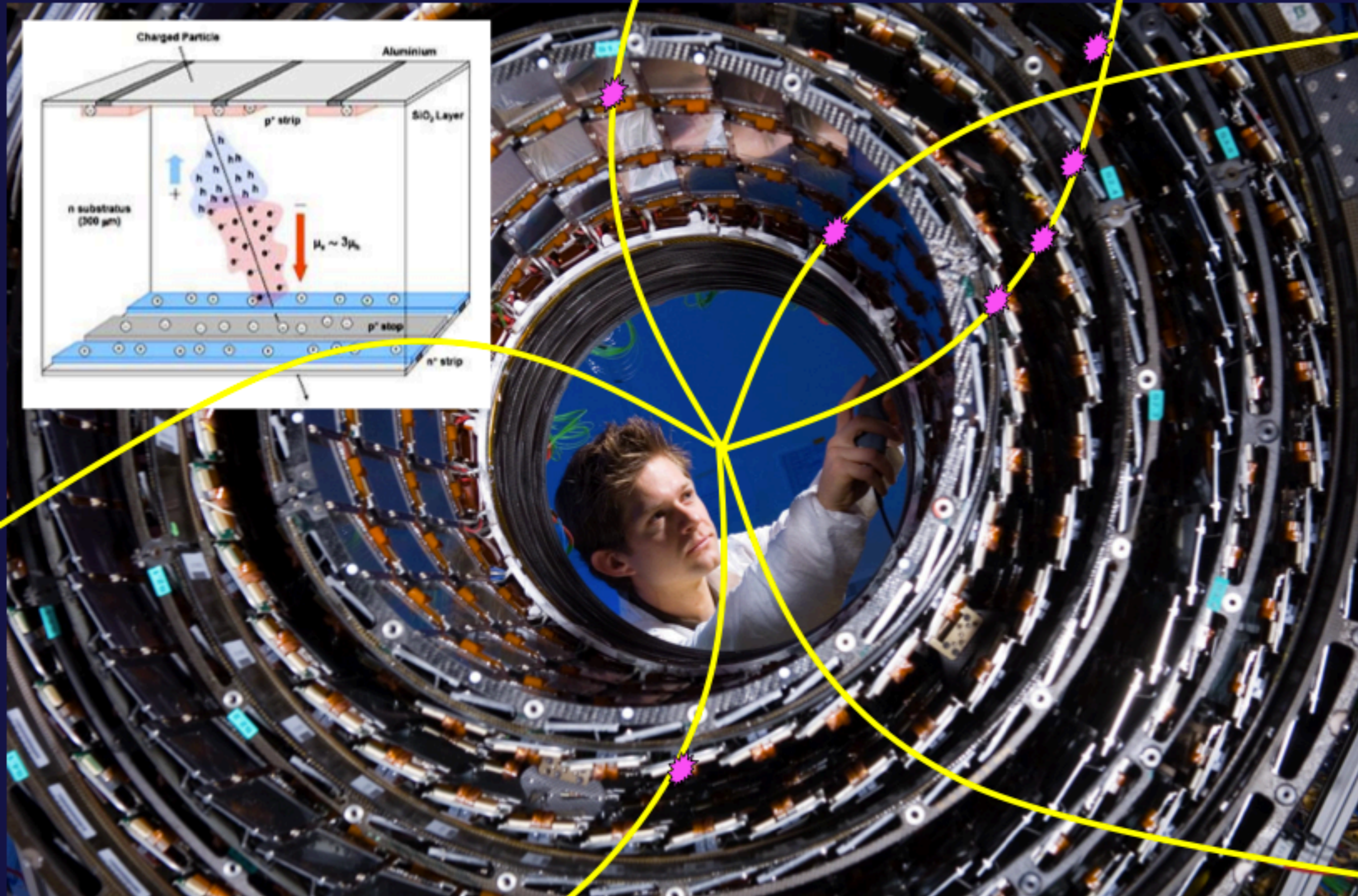
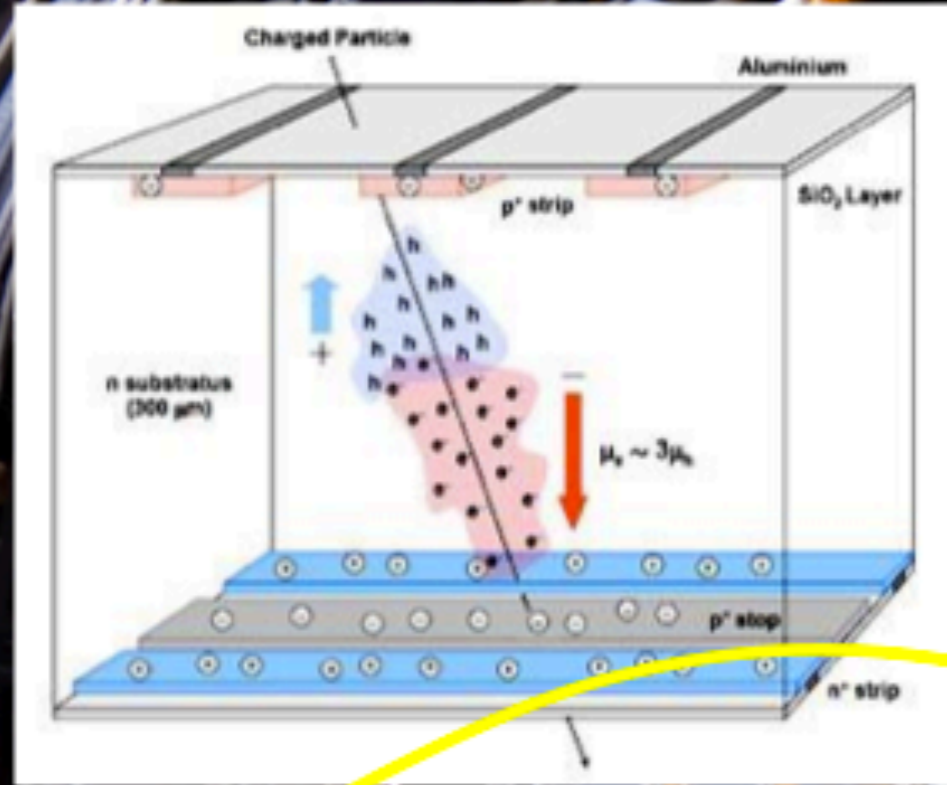
Brass + Plastic scintillator $\sim 7,000$ channels



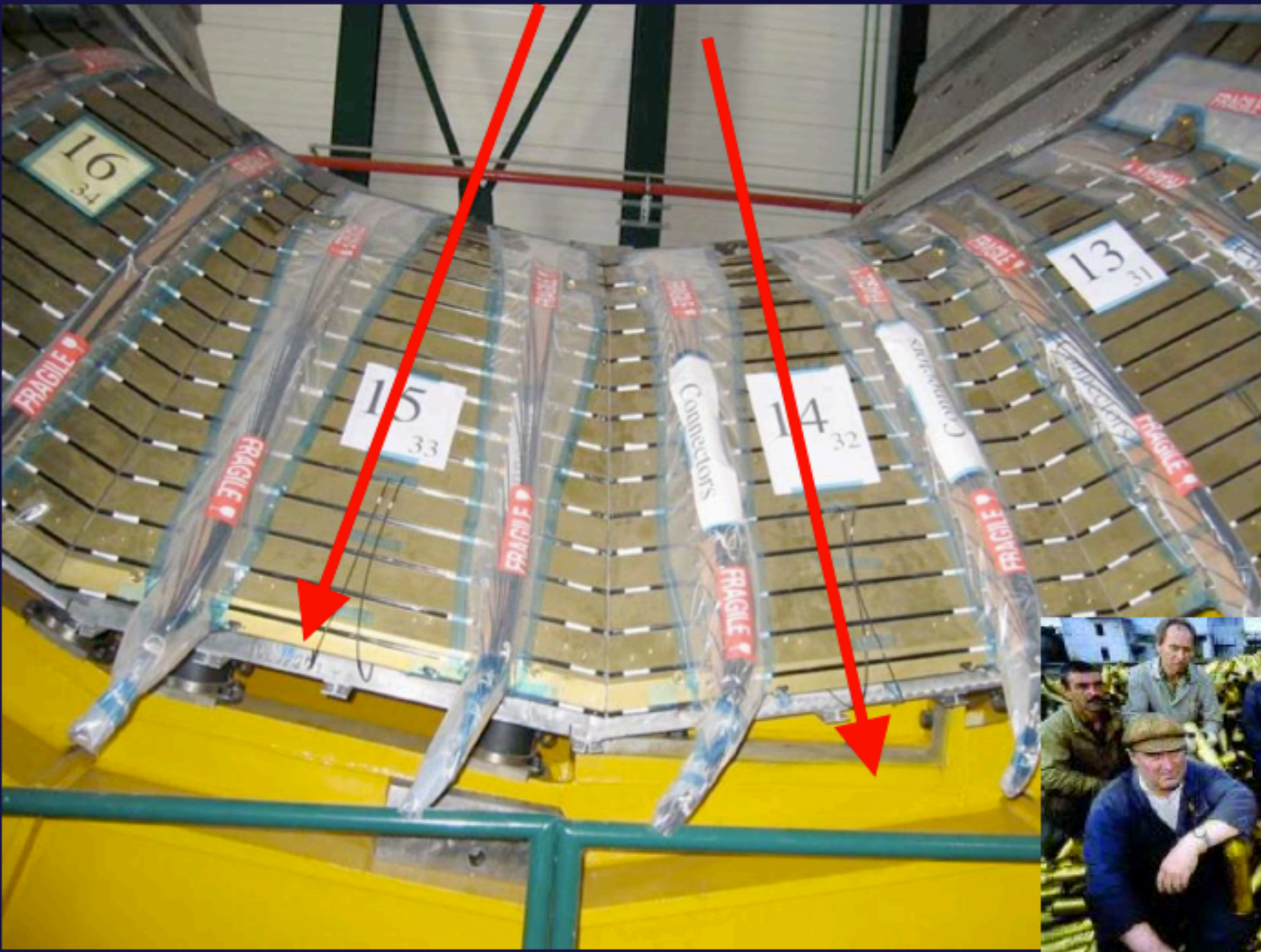
Silicium detectoren: traject meting



Silicium detectoren: traject meting



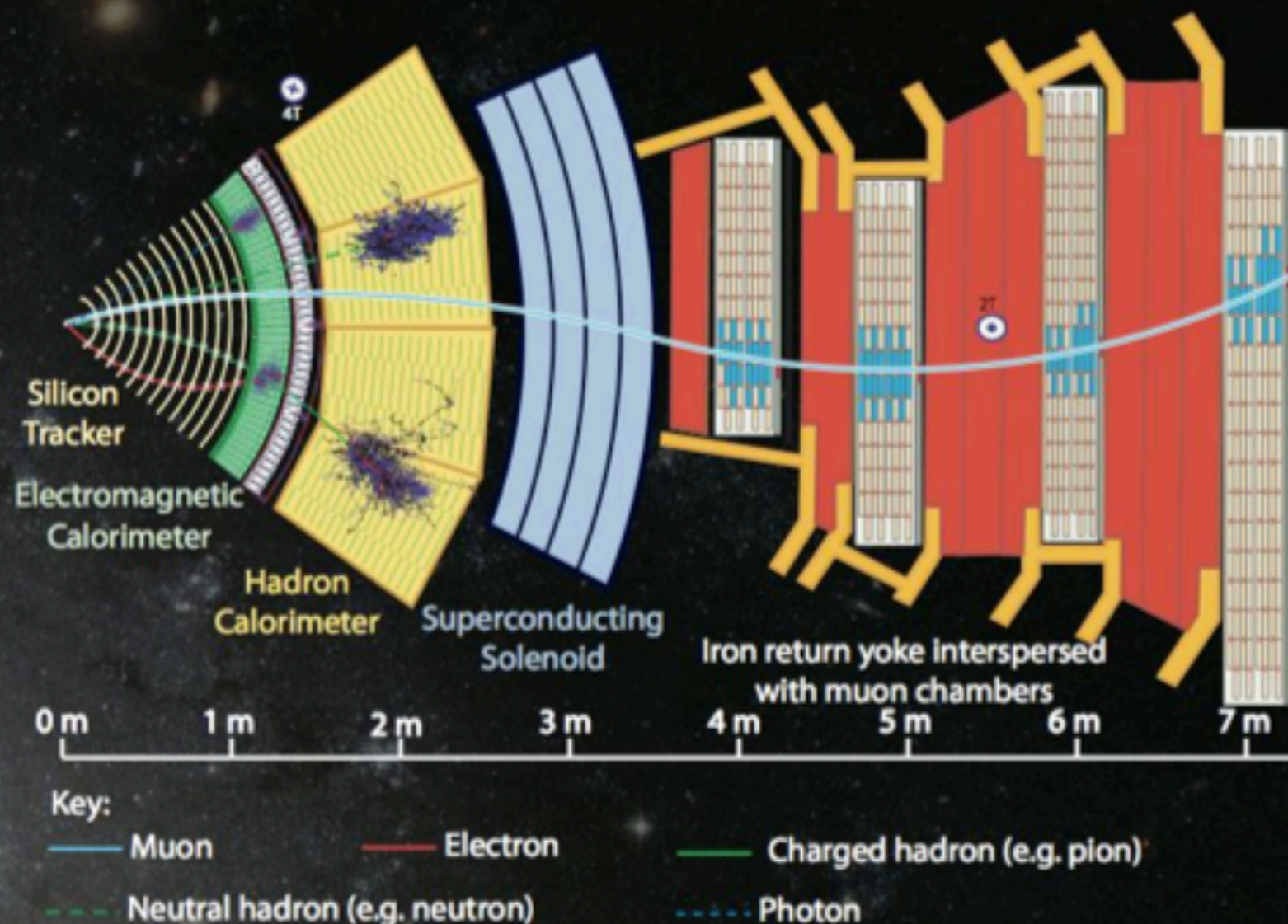
Calorimeters: energie meting



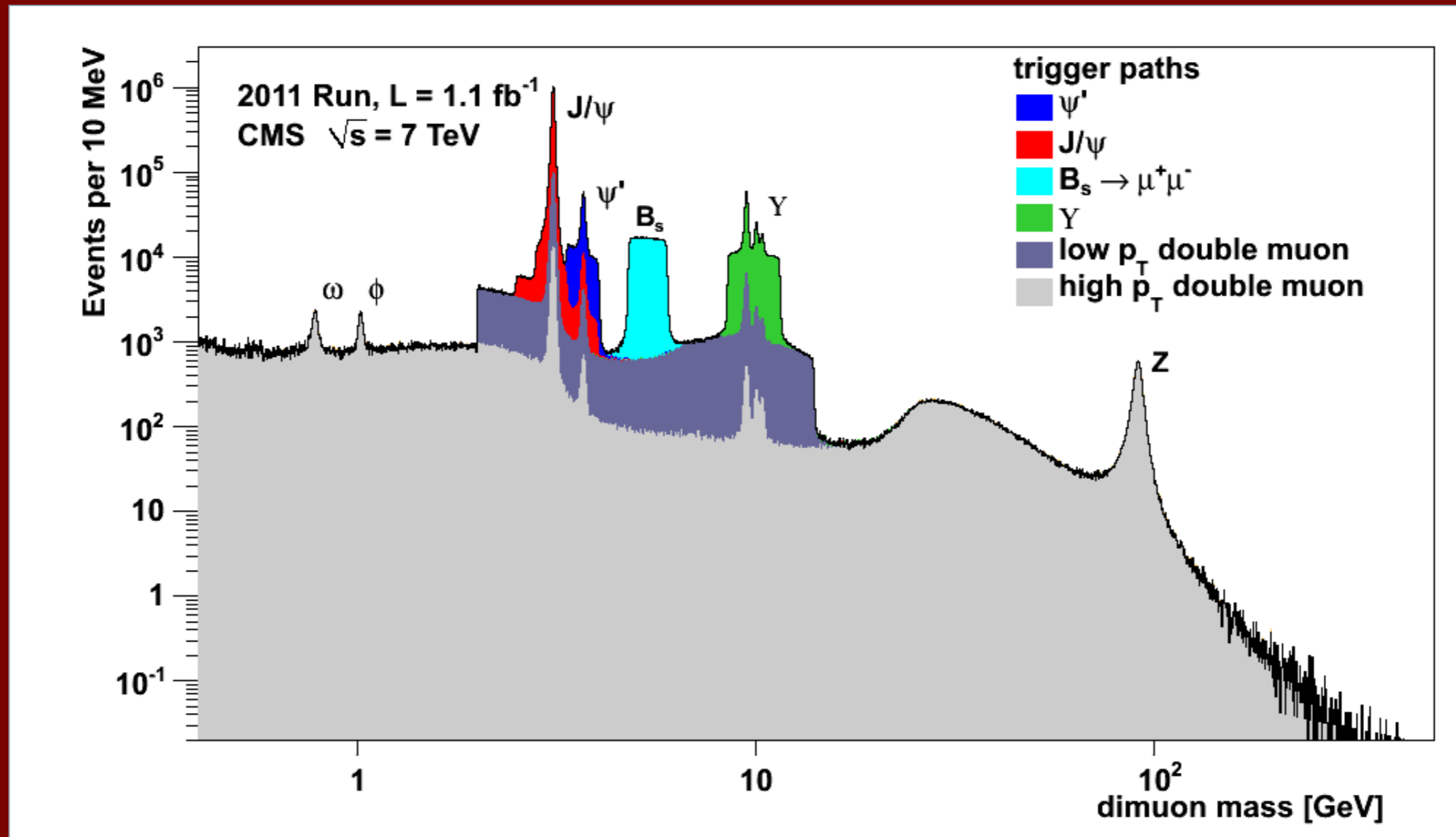
Hoe zie je deeltjes?

De deeltjes die we maken zijn (meestal) niet stabiel en vervallen naar lichtere stabiele deeltjes:

- protonen
- electronen
- muonen
- pionen
- kaonen
- fotonen (licht)
- en neutrinos

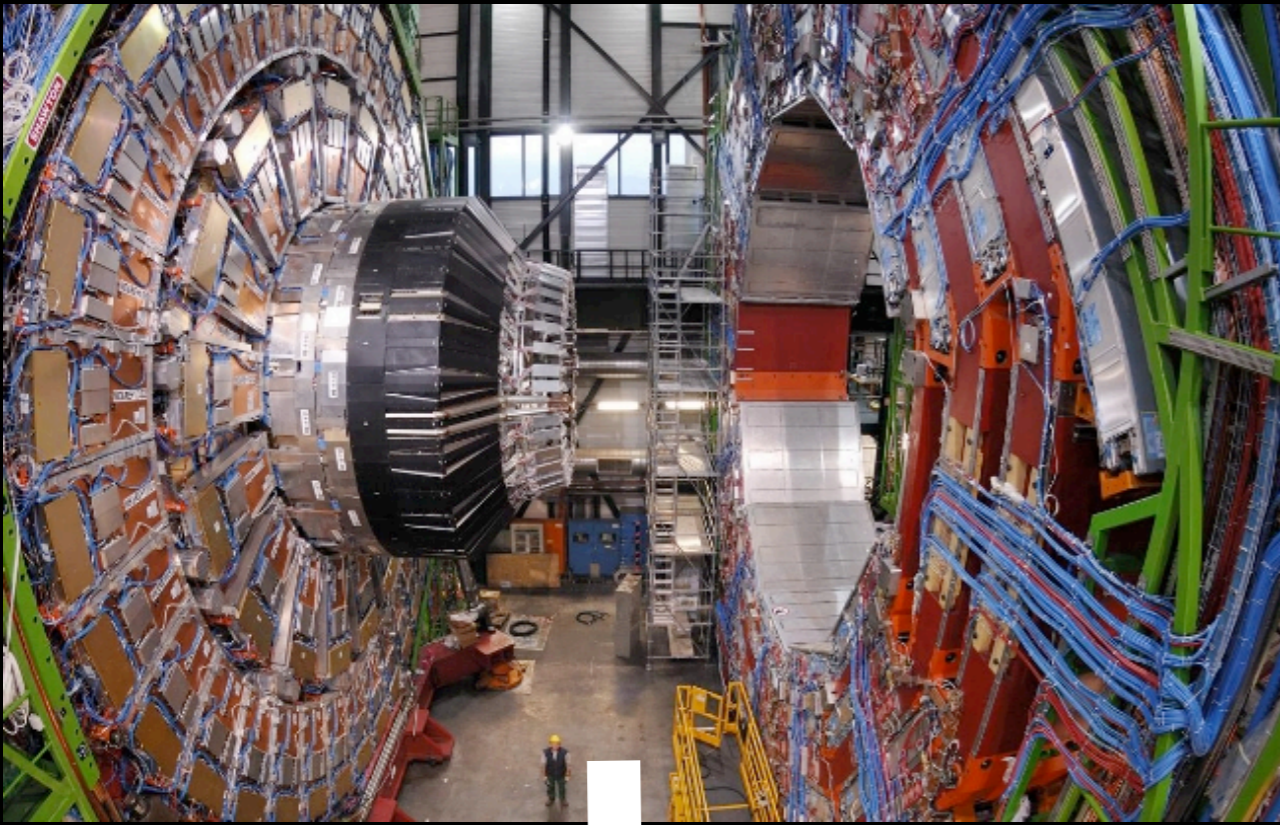


Combineren van de gemeten deeltjes



Voorbeeld: 2 muonen

Trigger - wat slaan we op?



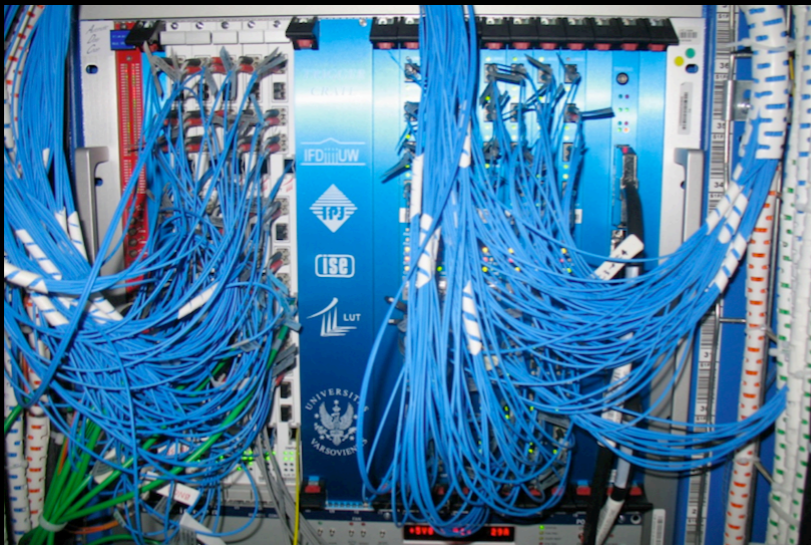
We nemen **1TB per seconde** aan data(!).

17 botsingen x 40 MHz x **1.5 MB.**

Maar we kunnen maximaal 100 Hz opslaan.

Welke botsingen willen we bewaren?

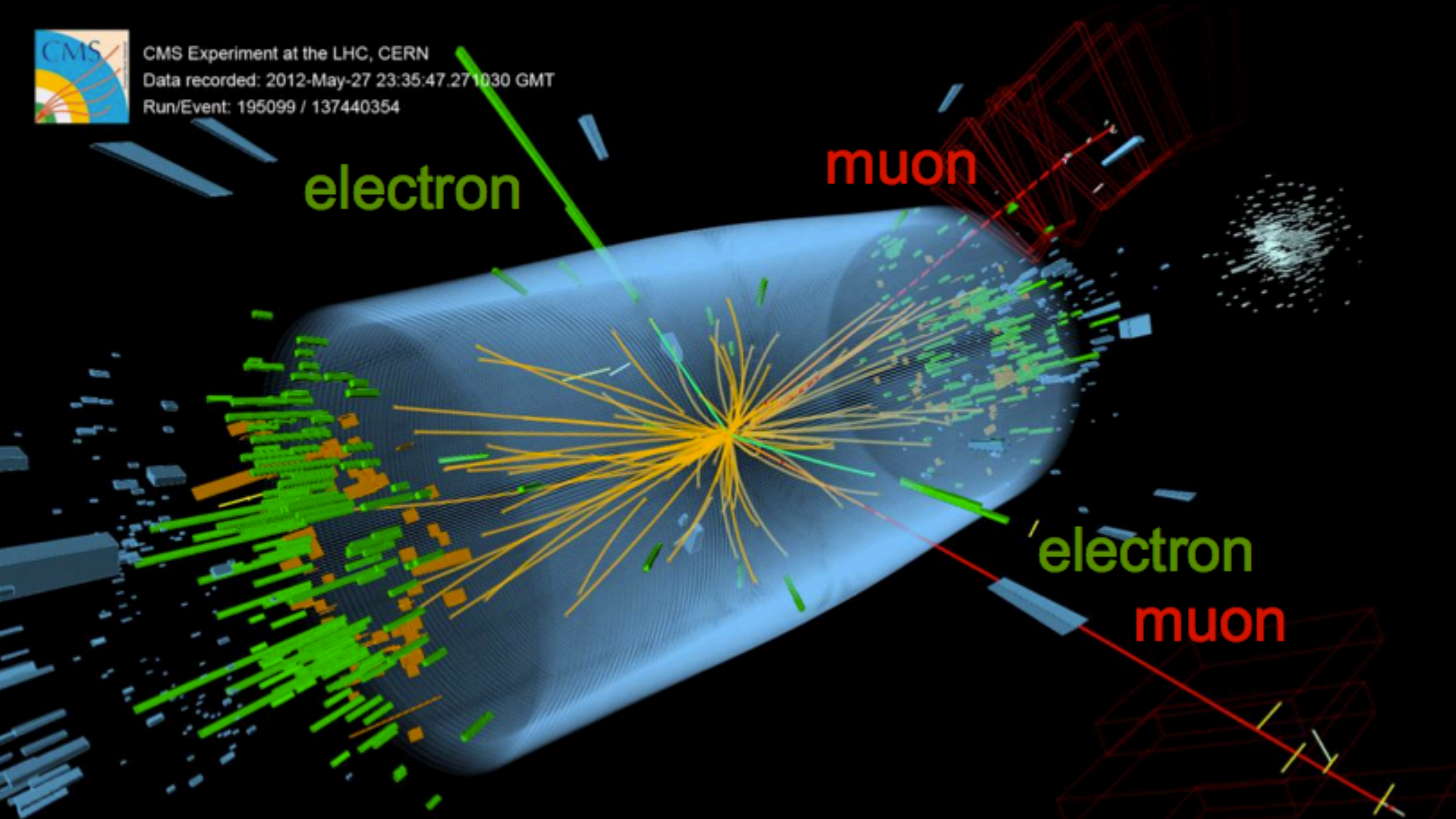
Hoe herkennen we een specifiek deeltje zoals het Higgs?



$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2 \text{ muonen} + 2 \text{ electronen}$?



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

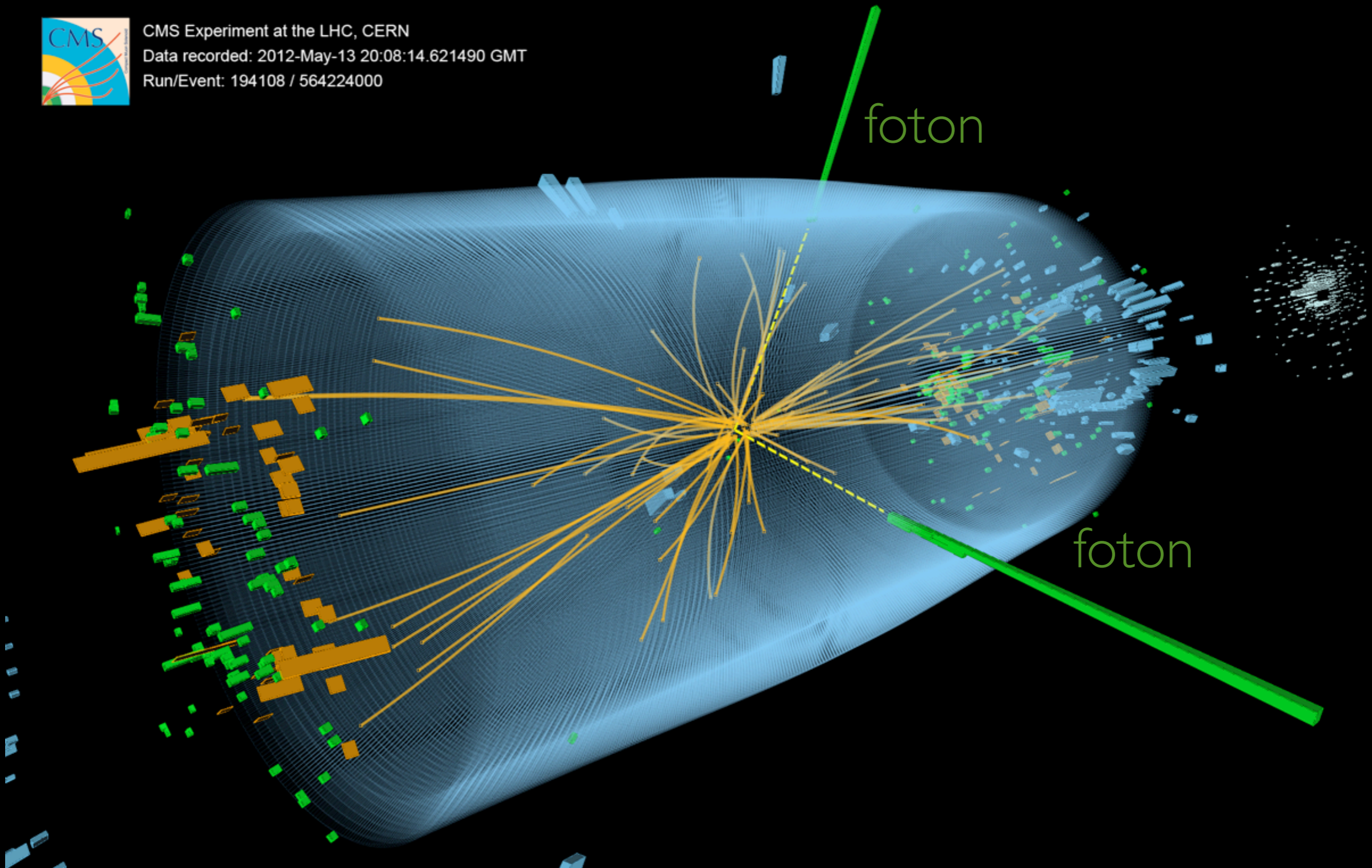


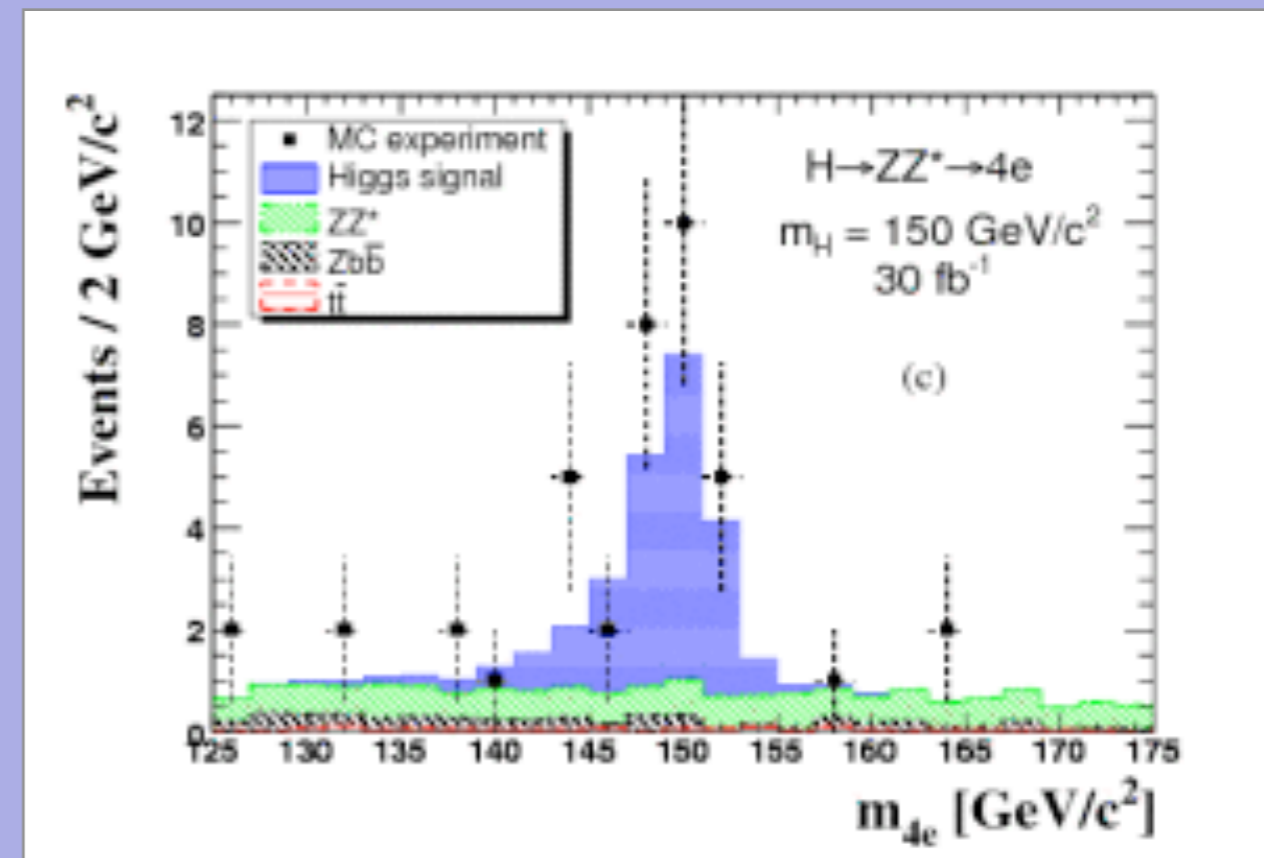
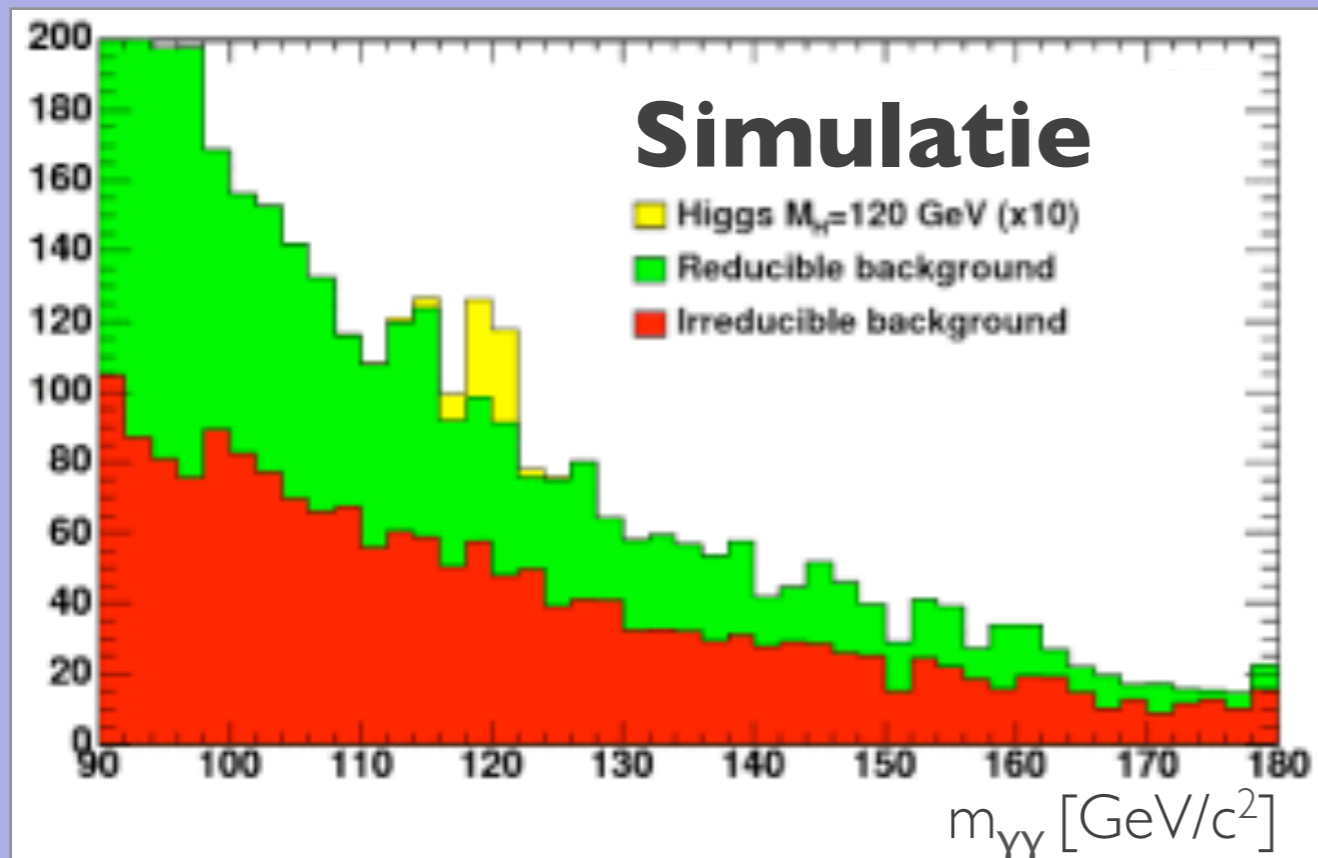
Higgs boson is instabiel en kan vervallen naar combinaties van andere deeltjes.

$H \rightarrow 2$ fotonen



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000





Higgs - een speld in een hooiberg

Heel veel botsingen lijken op een Higgs botsing!

We simuleren onze verwachtingen en kijken of het overeenkomt met wat we zien.

Amsterdam



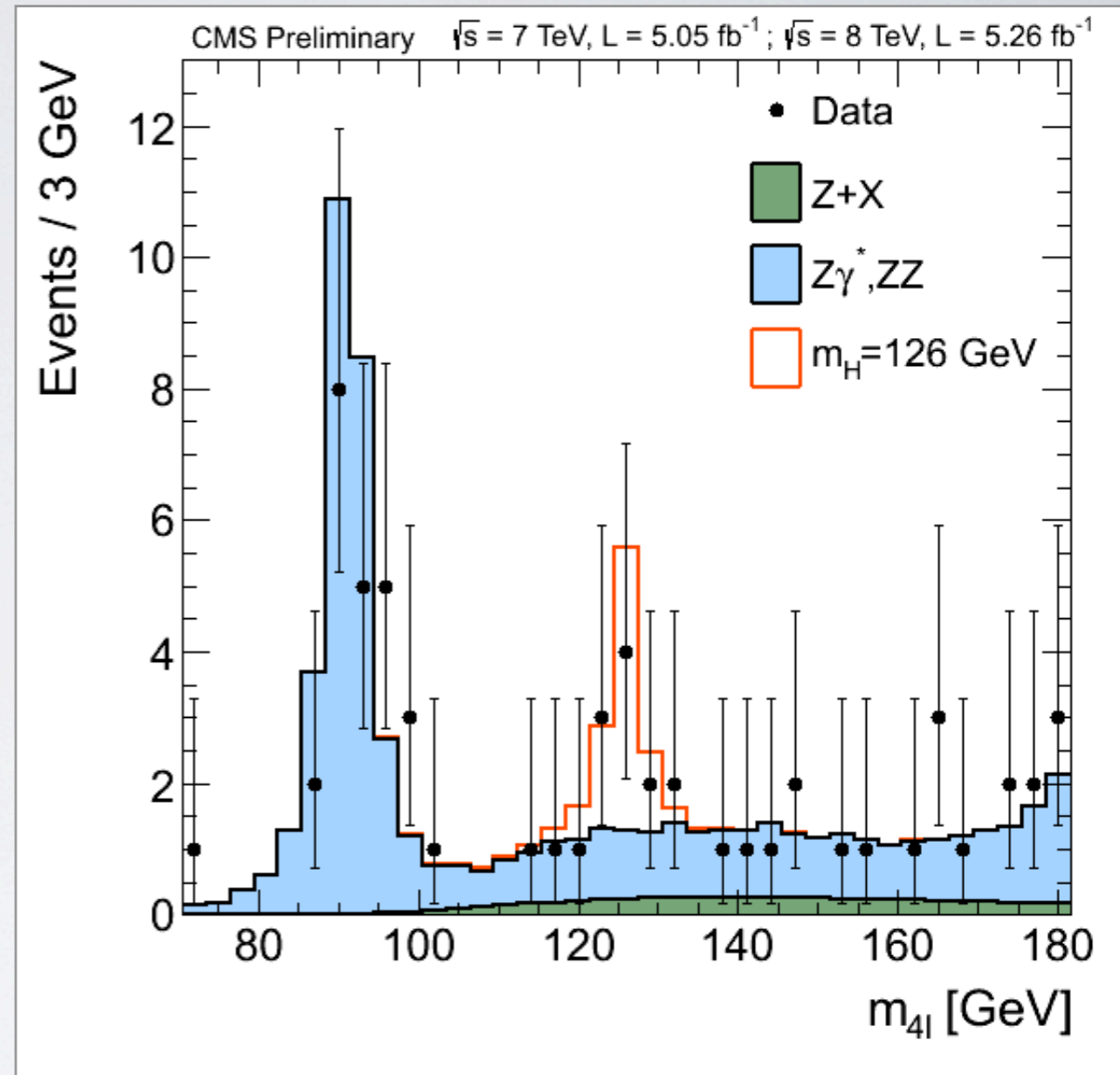
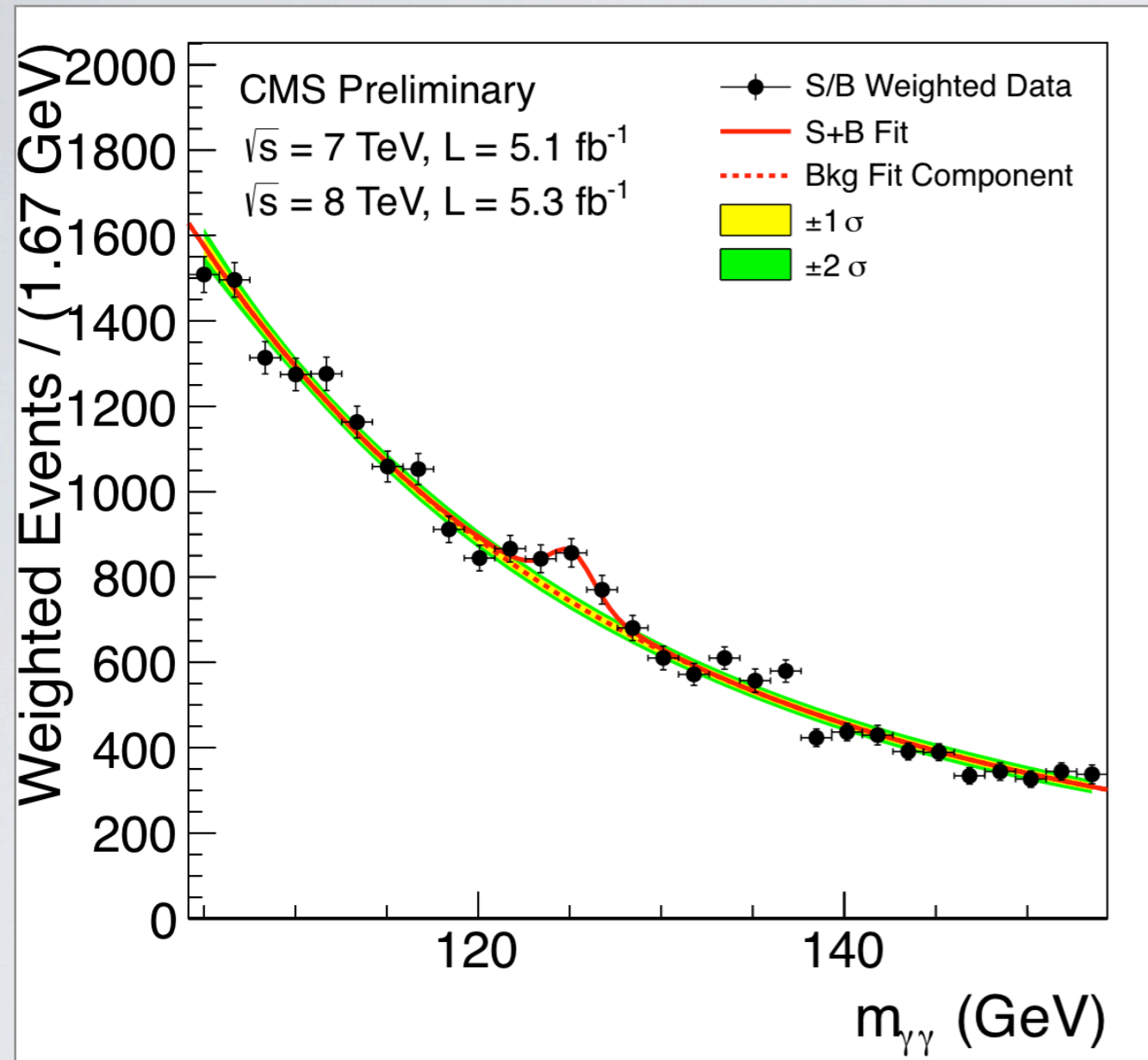
en???

persconferentie 4 juli 2012

Melbourne

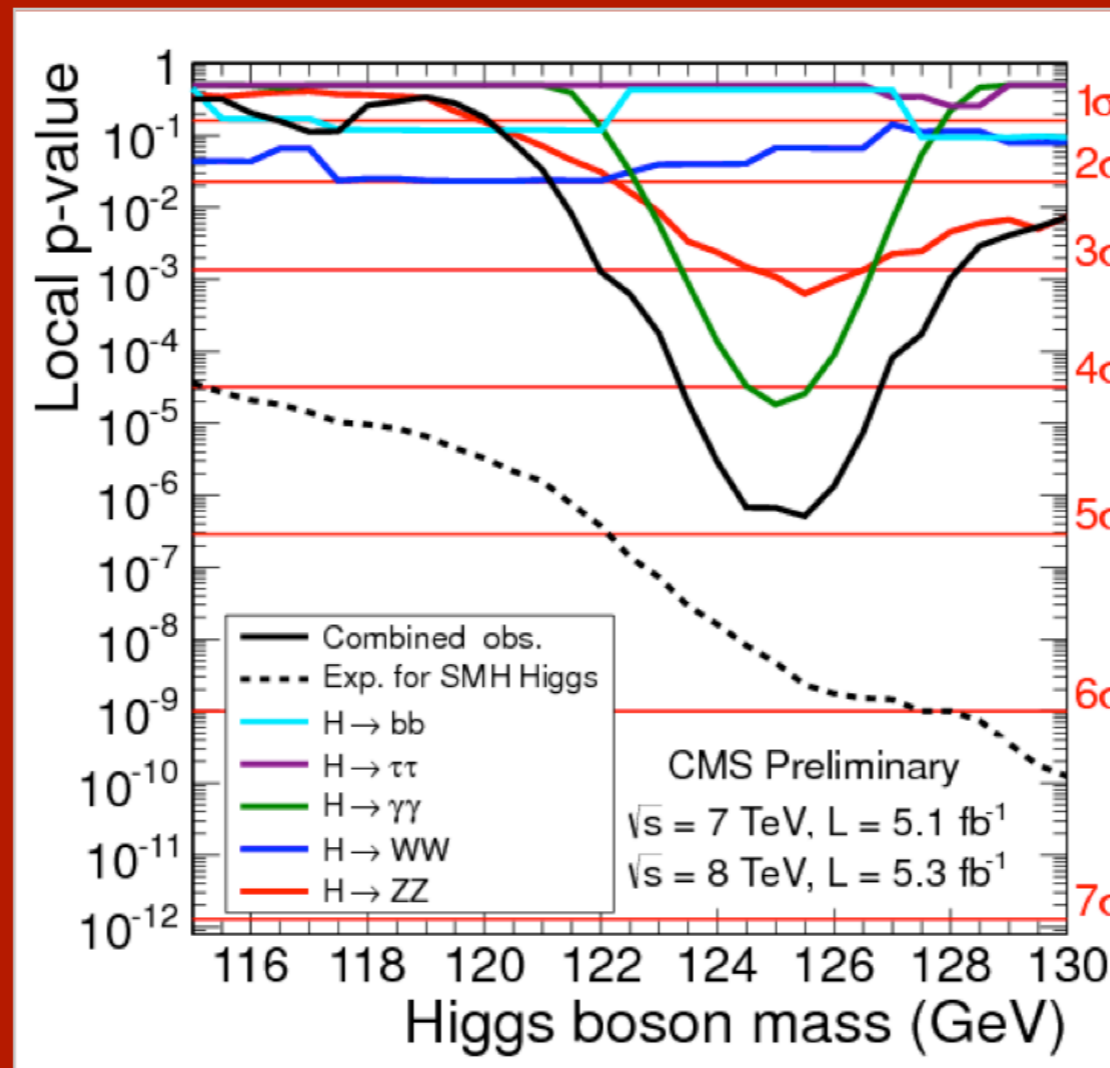


Alle kandidaat botsingen



Alle kanalen samen

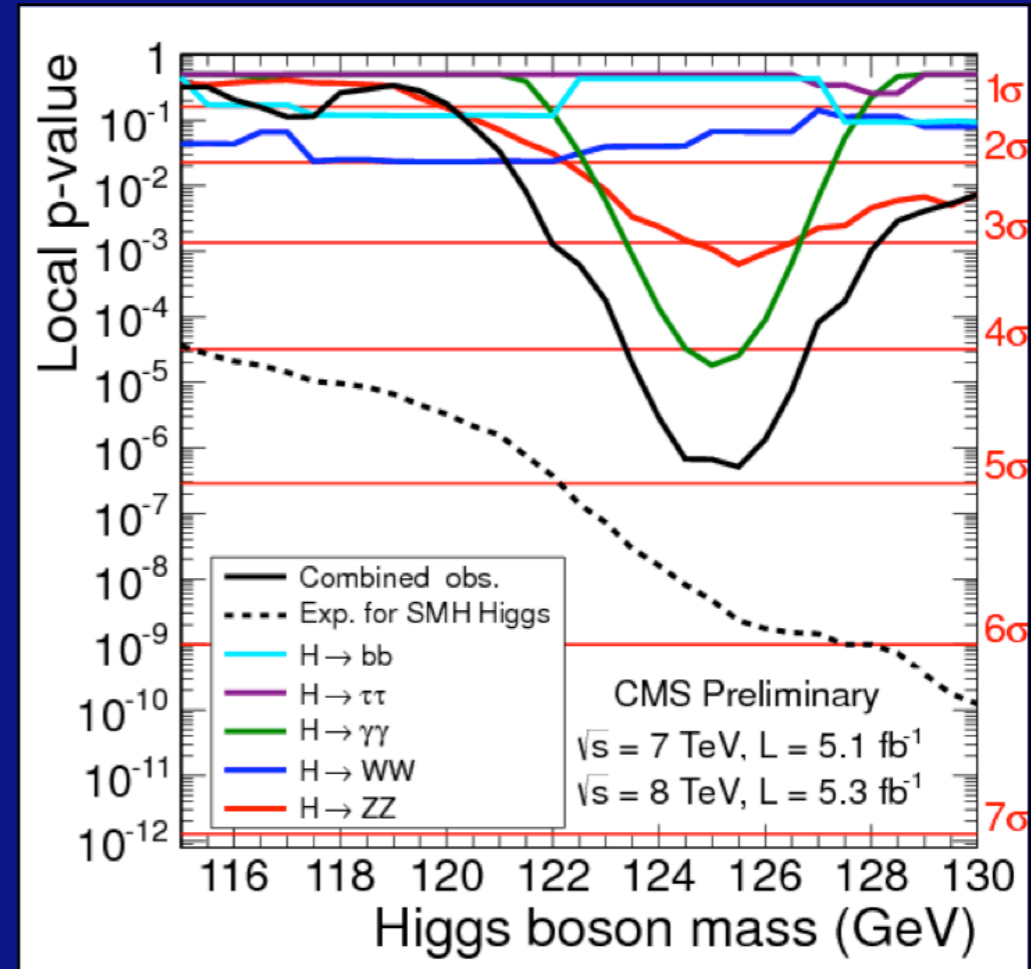
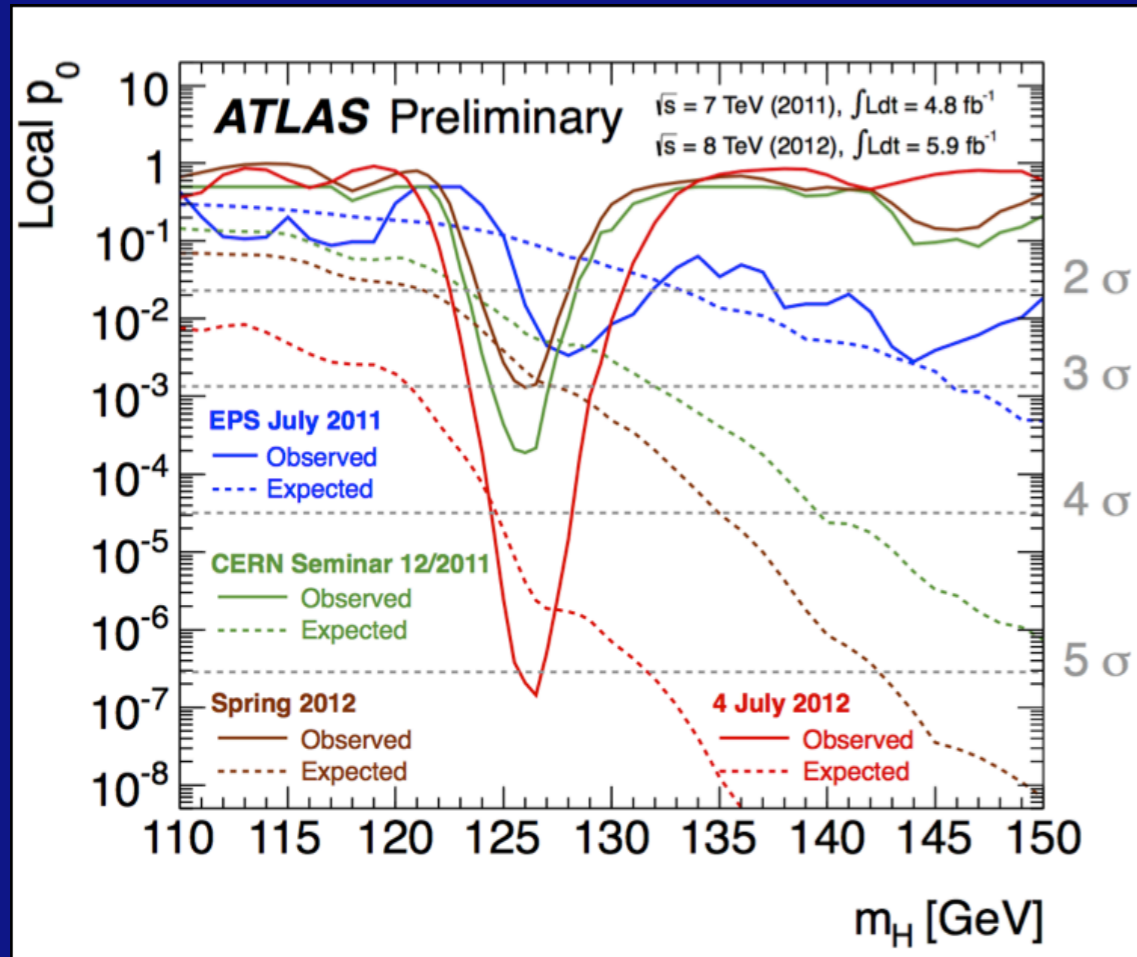
↓
Waarschijnlijkheid



We hebben een Higgs gevonden met een massa van ongeveer 125 GeV (125x proton massa)*

*Een kans van 1 op 3.5 miljoen dat dit een toevallige samenloop is van waarnemingen zonder dat we er een Higgs op die massa bestaat.

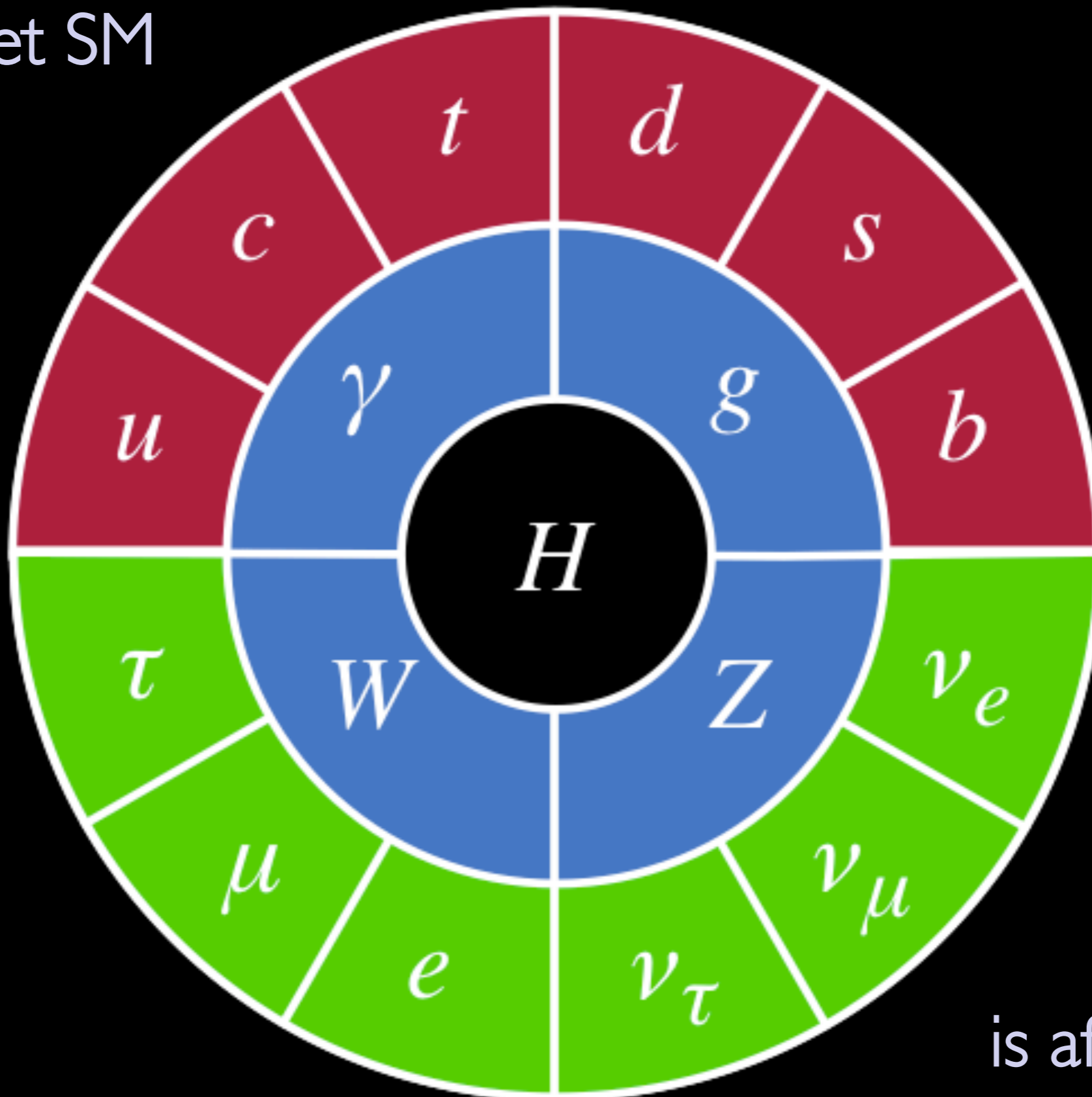
Beide resultaten



Higgs gevonden!

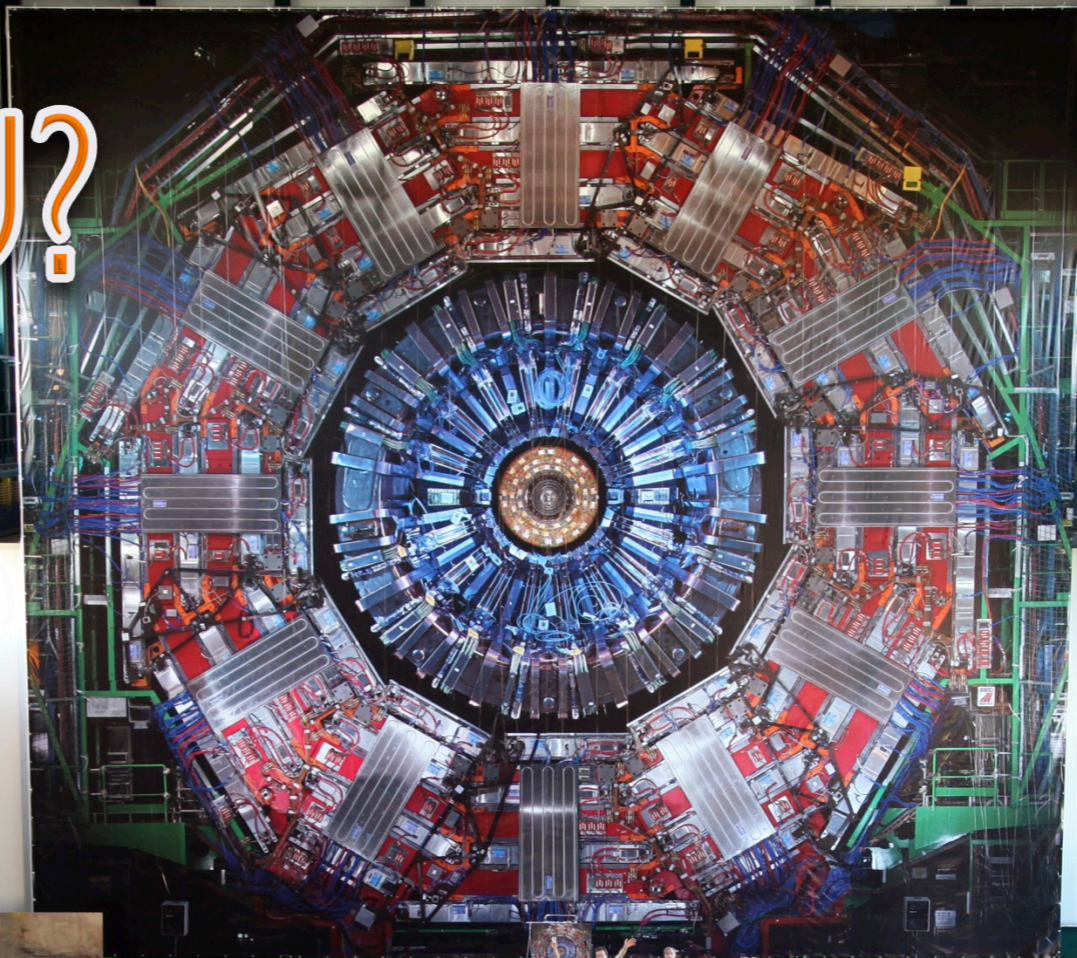


Het SM

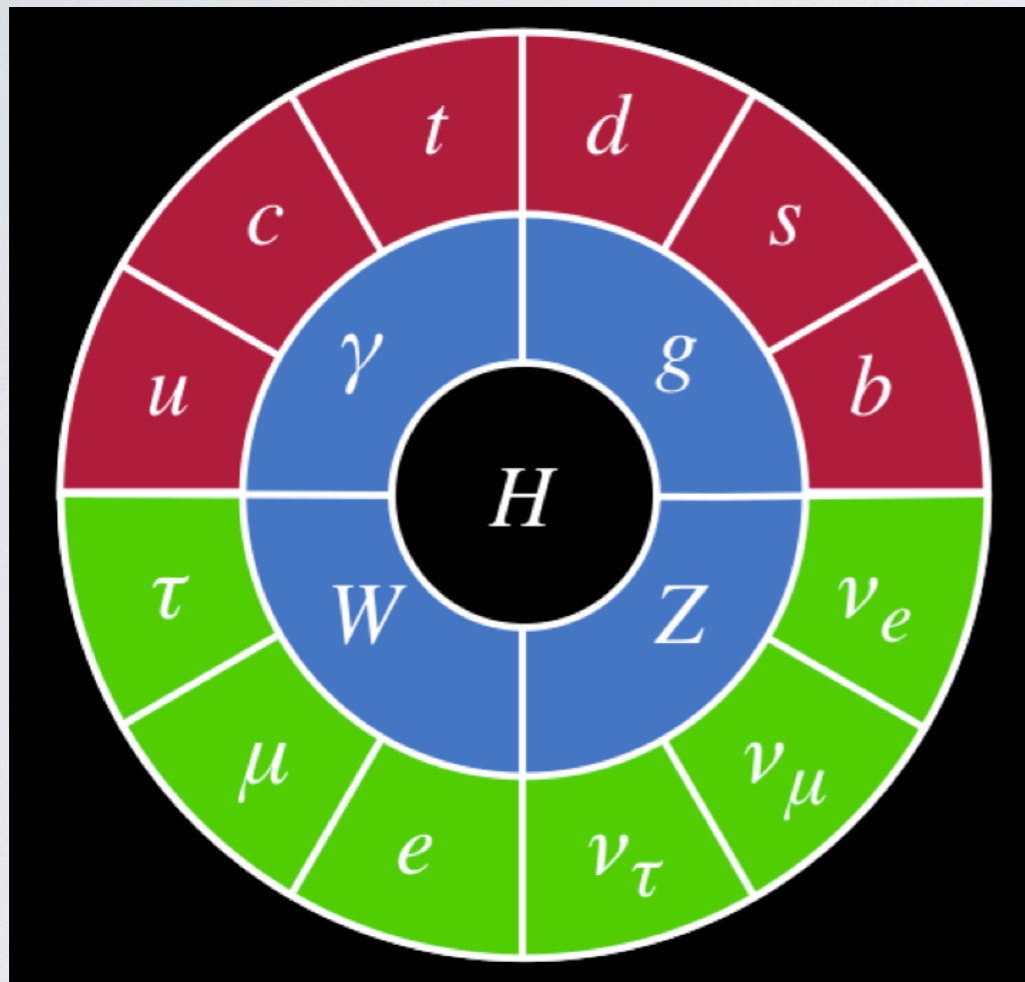


is af...

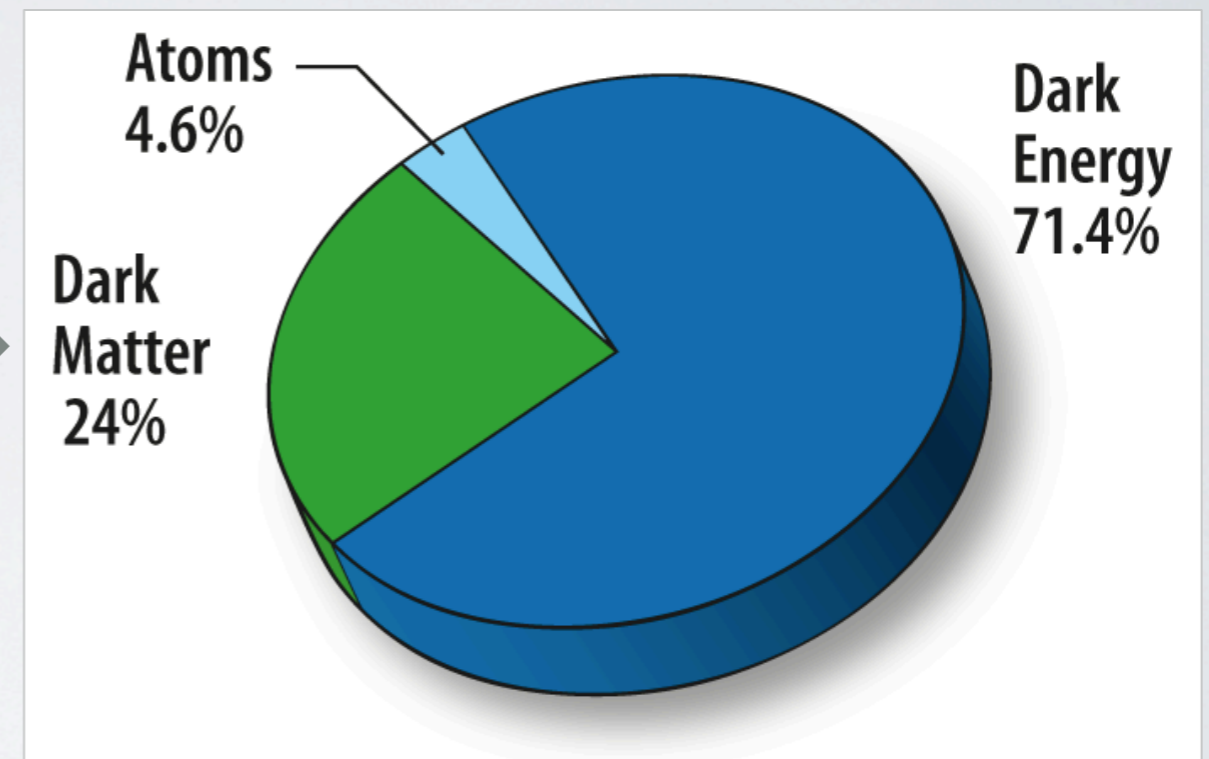
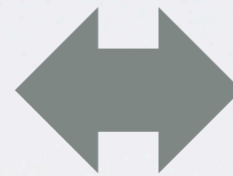
ENNU?



Dark Matter!



Standaard model
Alle deeltjes die we kennen



Standaard model
Slechts 5% van het Universum!

Dutch Matters

BULLETIN OF THE ASTRONOMICAL INSTITUTES OF THE NETHERLANDS.

1932 August 17

Volume VI.

No. 238.

COMMUNICATION FROM THE OBSERVATORY AT LEIDEN.

The force exerted by the stellar system in the direction perpendicular to the galactic plane and some related problems, by *J. H. Oort*.

Notations.

z distance from the galactic plane,
 Z velocity component perpendicular to the galactic plane,
 Z_0 the value of Z for $z = 0$,

4. From VAN RHIJN's tables in *Groningen Publication* No. 38 the density distribution $\Delta(z)$ has been computed for four intervals of visual absolute magnitude (Table 13 and Figure 1). Figures 2 and 3 show $\log \Delta(z)$ for A stars and yellow giants, as derived by

Kapteyn & Oort ('20-'30)

- Melkwegstructuur
- Sterrenkinematica

via arXiv/1605.04909

A. Bosma

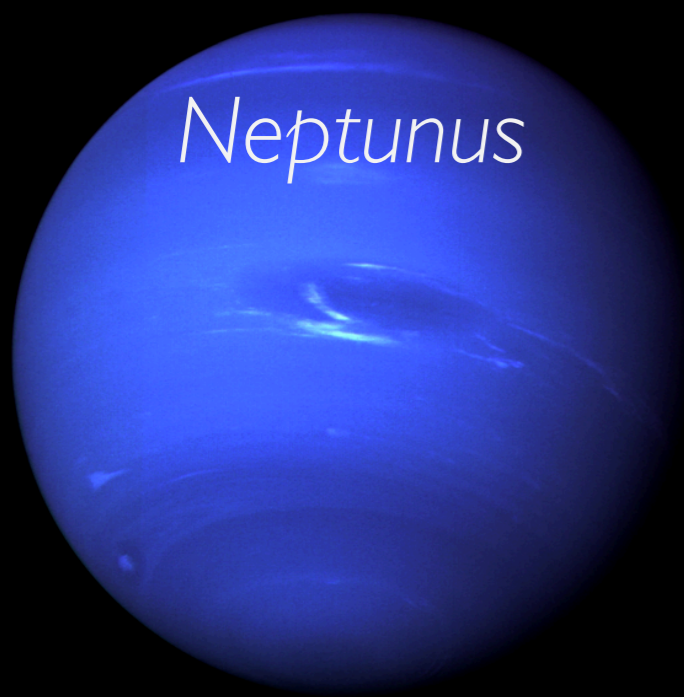
- Proefschrift (1978)
- Rotatiecurves

De waarnemingen plaatsten ons telkens weer voor verrassingen. Het ene stelsel na het andere bleek niet te voldoen aan het simpele beeld dat een spiraalstelsel bestaat uit een bulge en een schijf met daarin de spiraalstructuur als kleine verstoring. Een groot aantal stelsels blijkt grote schaal verstoringen van de cirkelvormige schijf te hebben. Sommige hebben vermoedelijk een ellipsachtige structuur in het vlak van de schijf die veel lijkt op een balk, ook als er geen balk op foto's te zien is; andere hebben waarschijnlijk een vervormde schijf die kan worden beschreven als een systeem van wiebelende fornuisringen. Enkele stelsels zijn zelfs zo vervormd in

andere, meer door de waarneemapparatuur bepaalde, problemen die hierop van invloed zijn. Toch zijn er nog wel enkele zinvolle uitspraken te doen, zij het dat een grote mate van voorzichtigheid moet worden betracht. Het blijkt dat we geen goede schattingen van de totale massa kunnen maken: de metingen duiden erop dat er nog veel massa aanwezig moet zijn buiten de gebieden van de stelsels waaruit signaal wordt gedetecteerd. Deze massa moet bestaan uit betrekkelijk donkere materie. Voorts vinden we enige aanwijzingen dat de hoeveelheden sterren van verschillende afmetingen veranderen als de afstand tot het centrum van het stelsel verandert: er zijn wellicht relatief meer dwergsterren aan de buitenkant van een spiraalstelsel.

Neptunus

Donkere Materie anno 1846



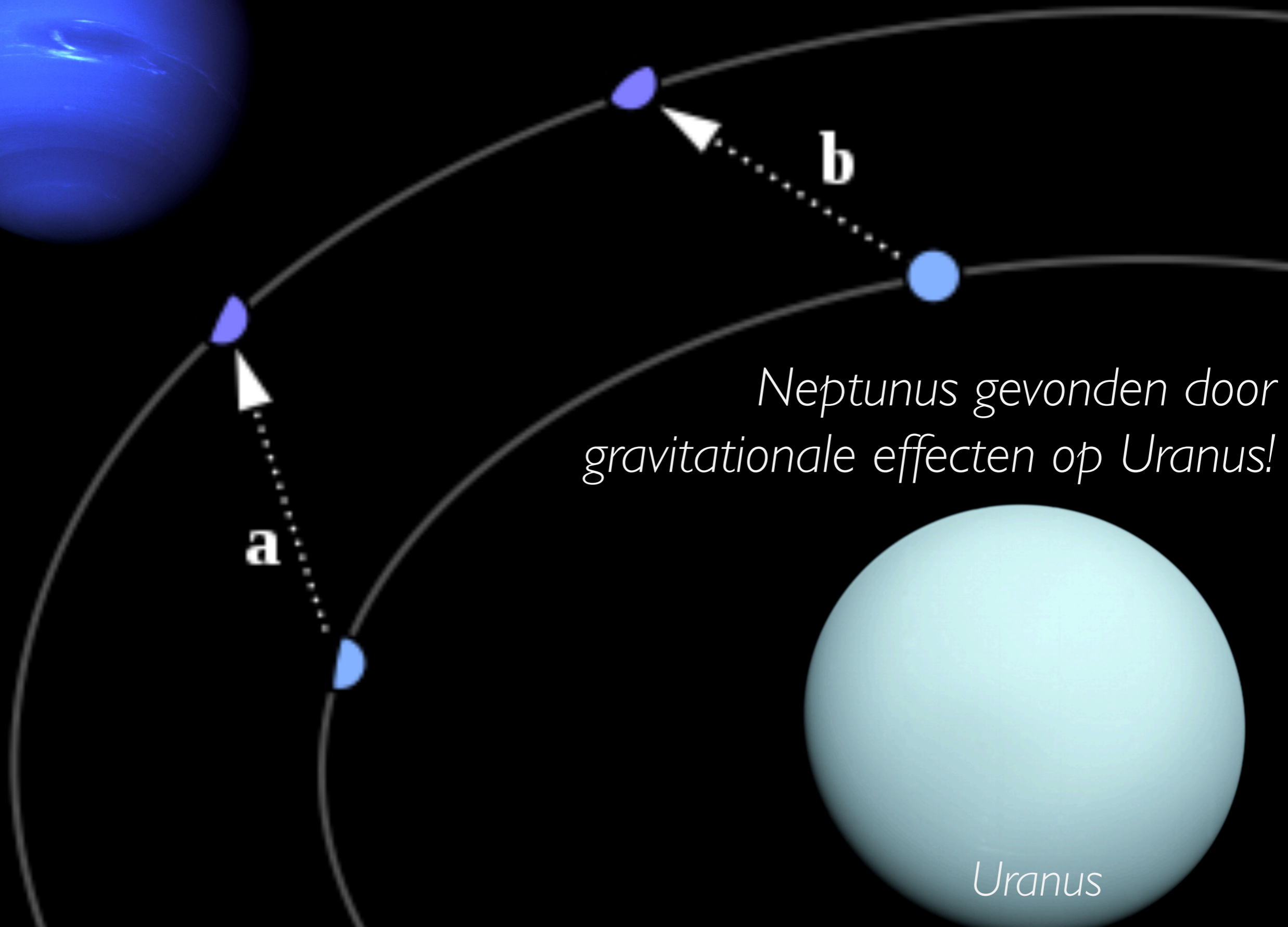
*Neptunus gevonden door
gravitationale effecten op Uranus!*



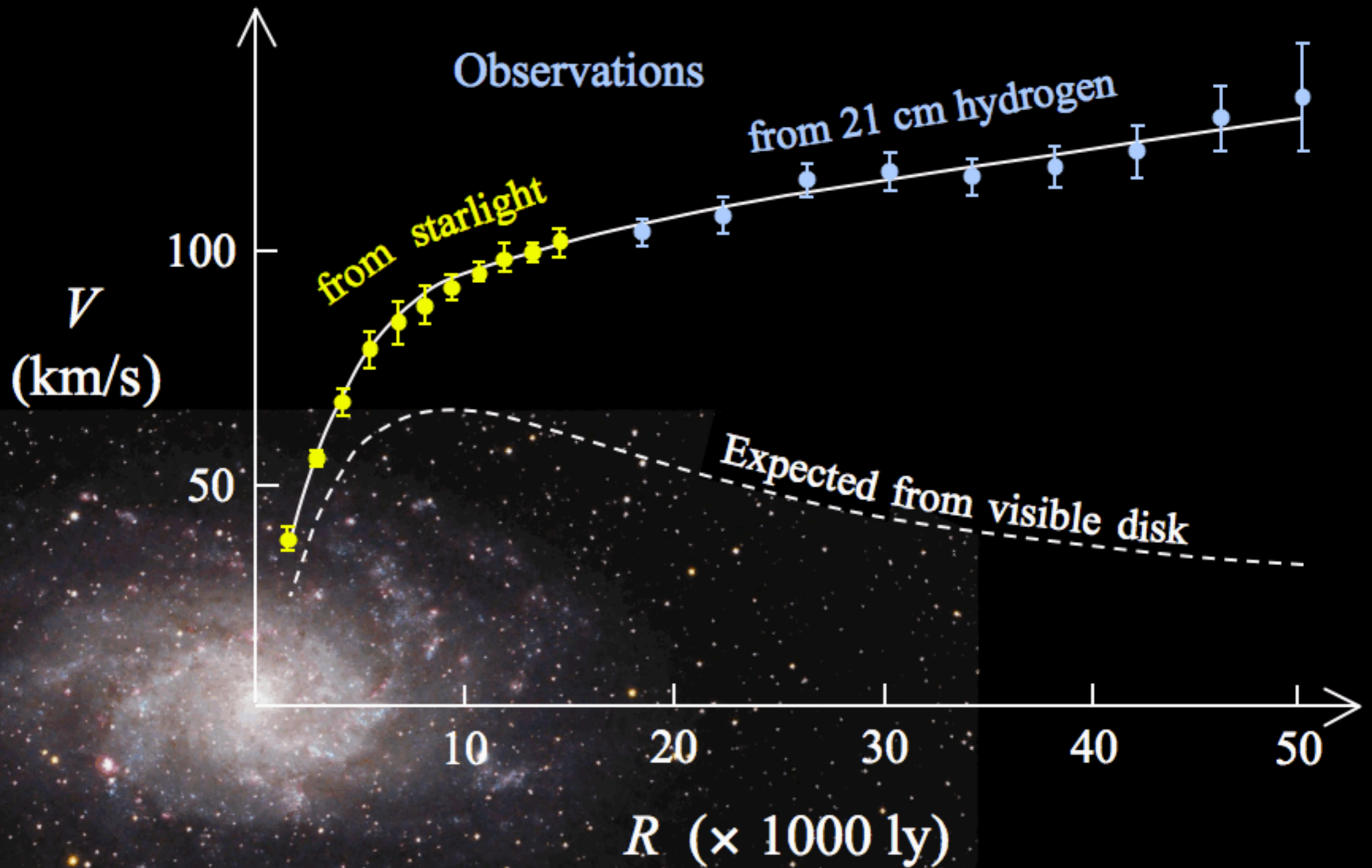
Uranus

a

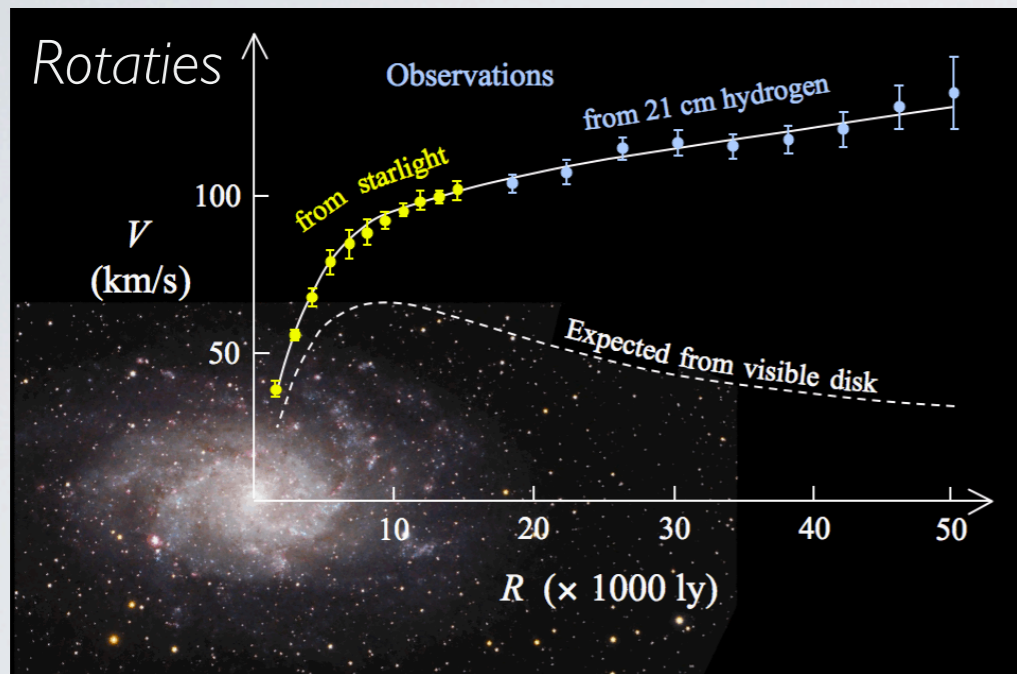
b



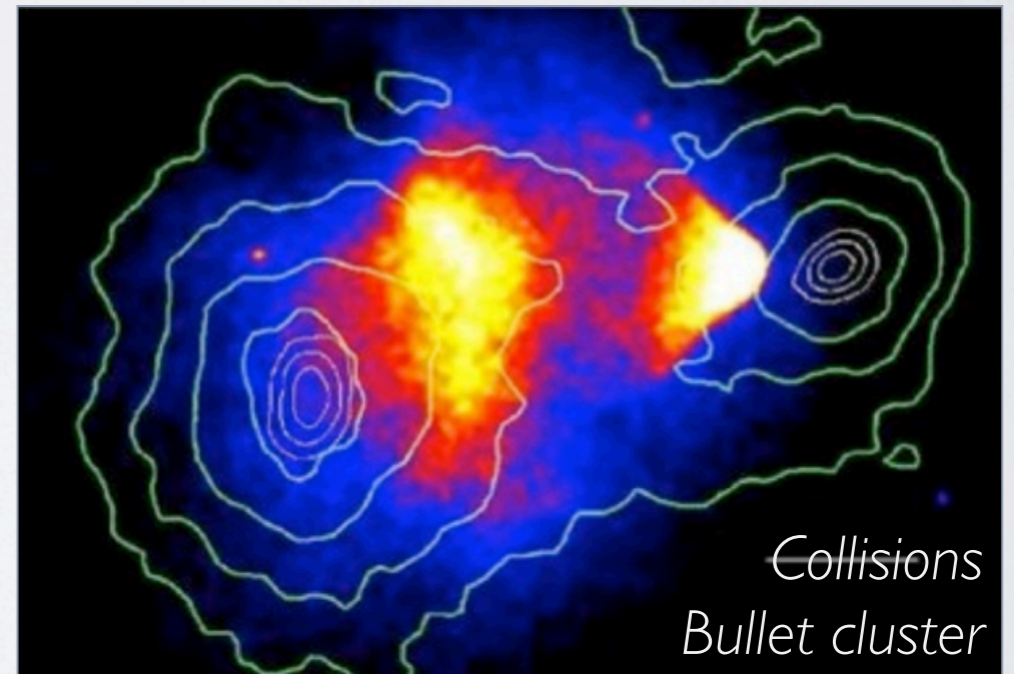
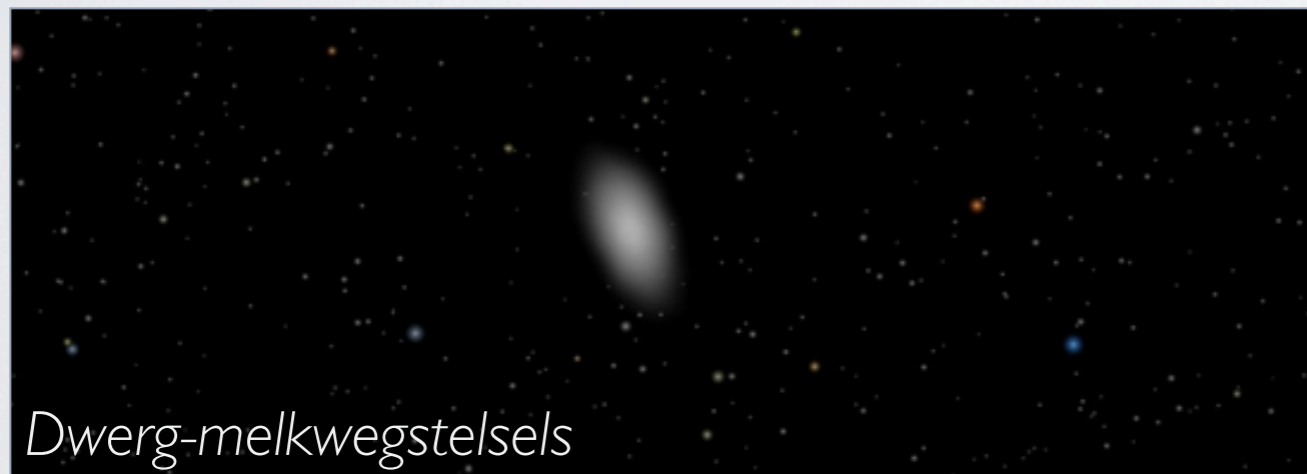
Rotatie-snelheid



Bewijsmateriaal

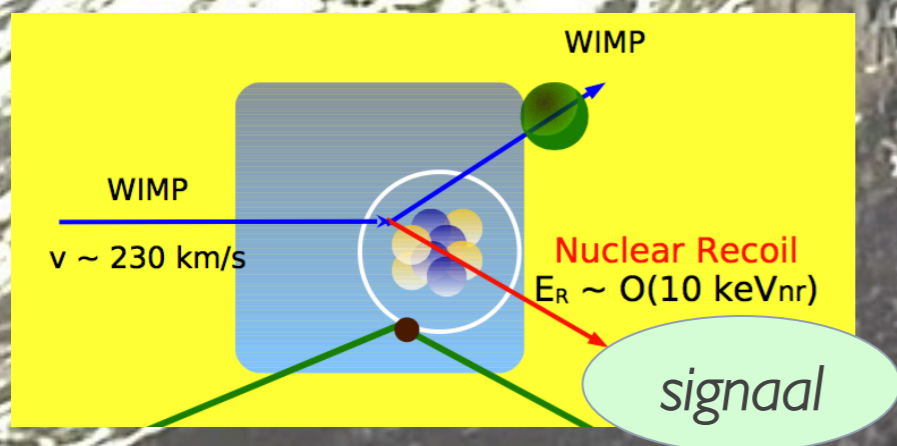
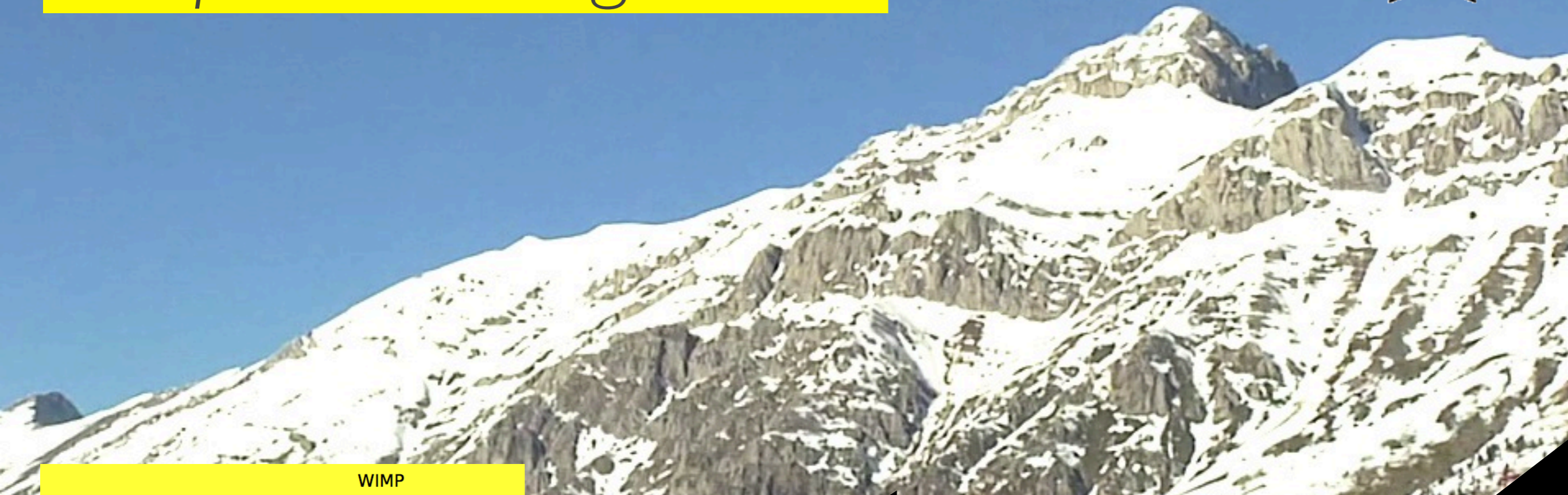


(en méér!)



- 1) Massief deeltje
- 2) Zwakke interactie

Diep onder de grond...



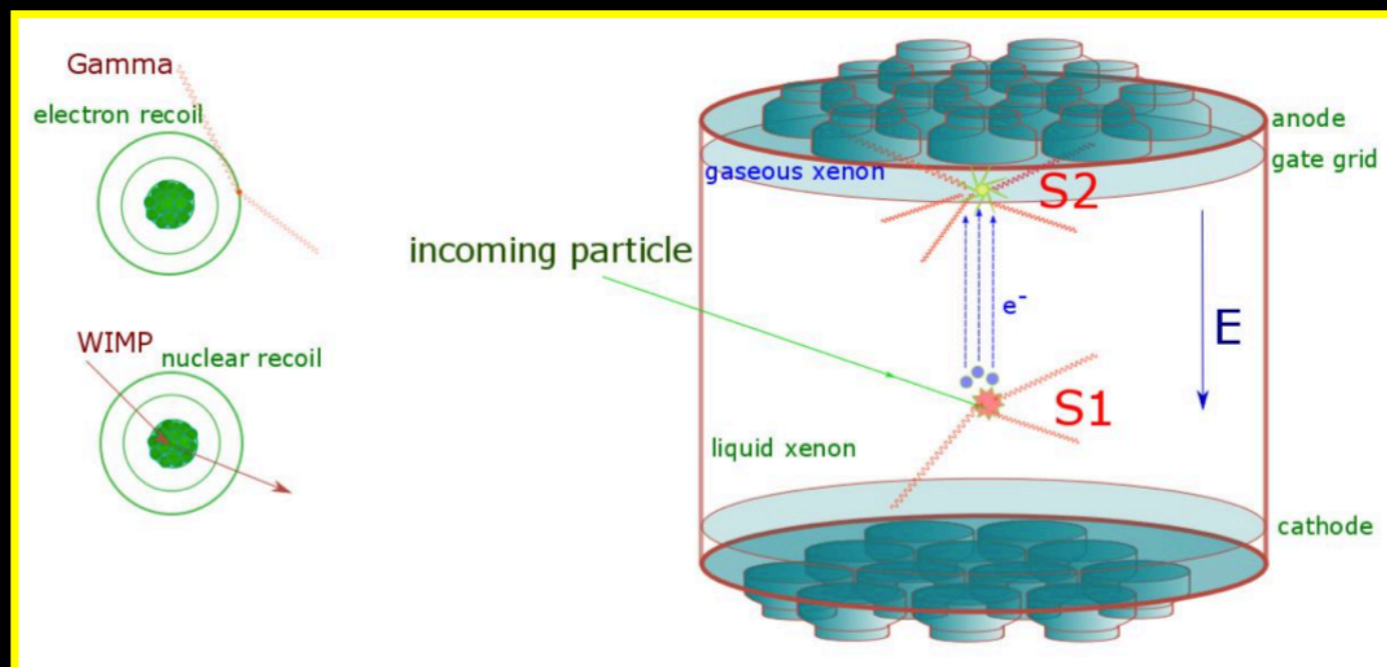
nikhef.nl/programma/xenon1t



“Directe Detectie”
LUX / PandaX / Xenon1T

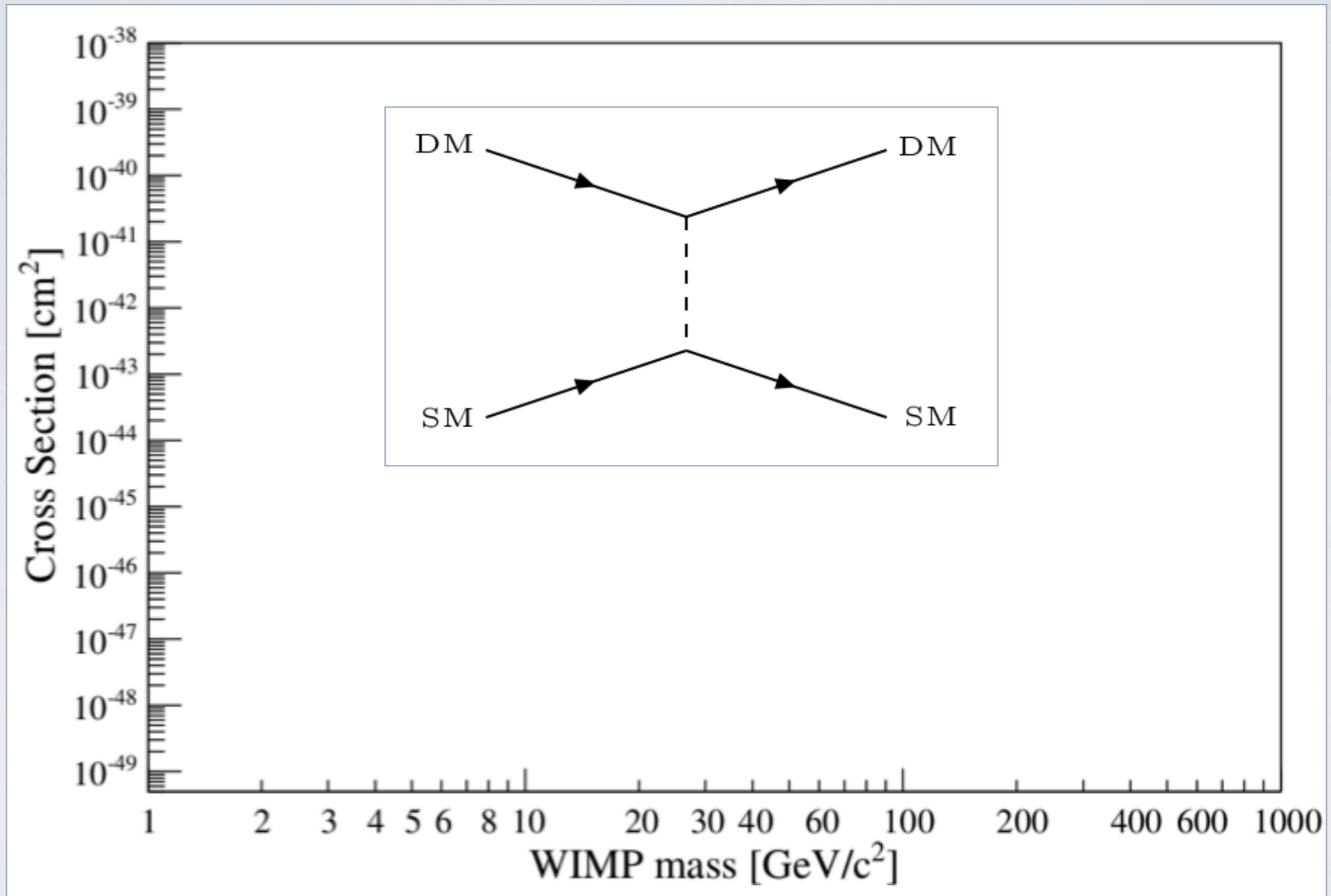
Diep onder de grond...

“Directe Detectie”
LUX / PandaX / Xenon IT



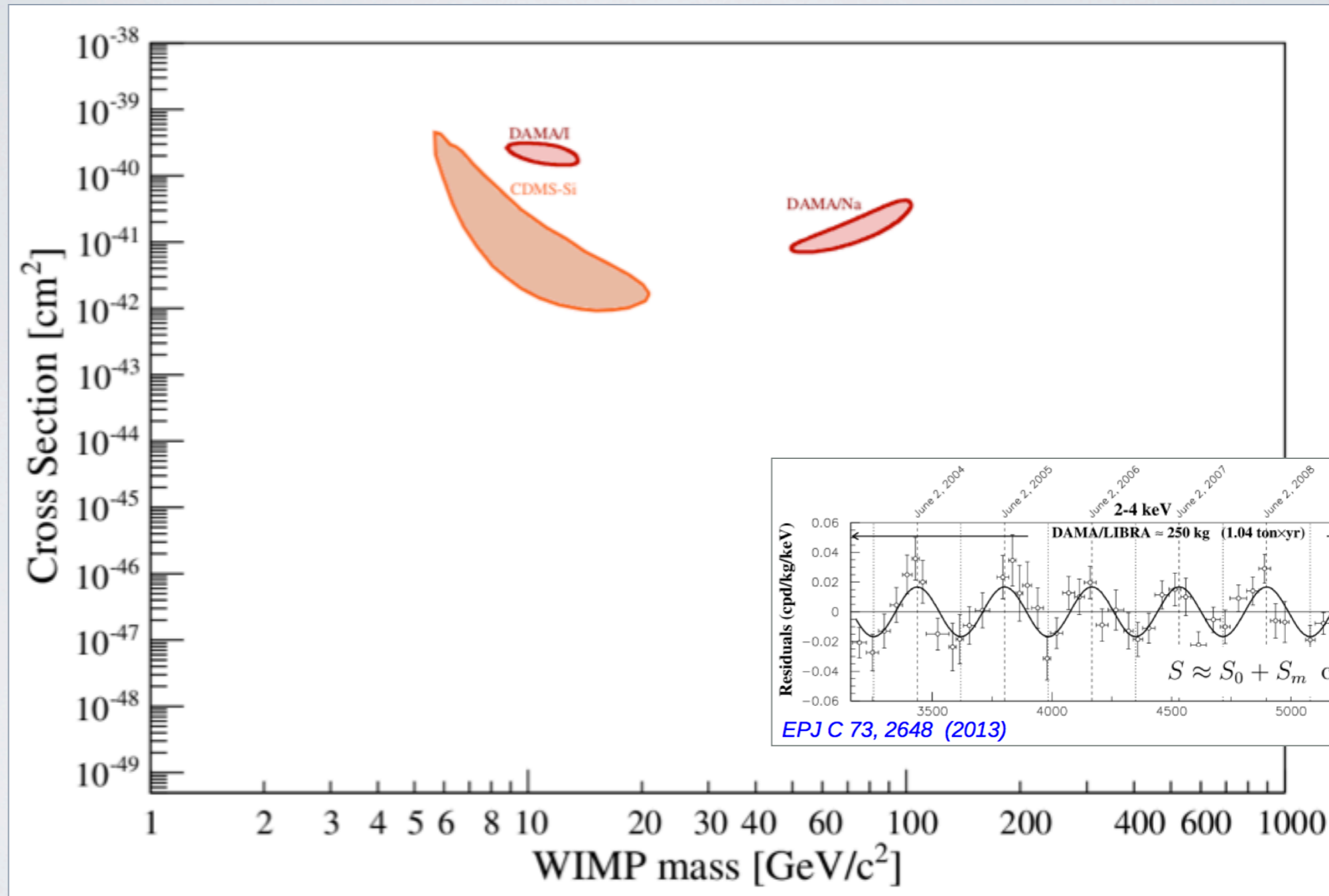
DD

Interactie-sterkte



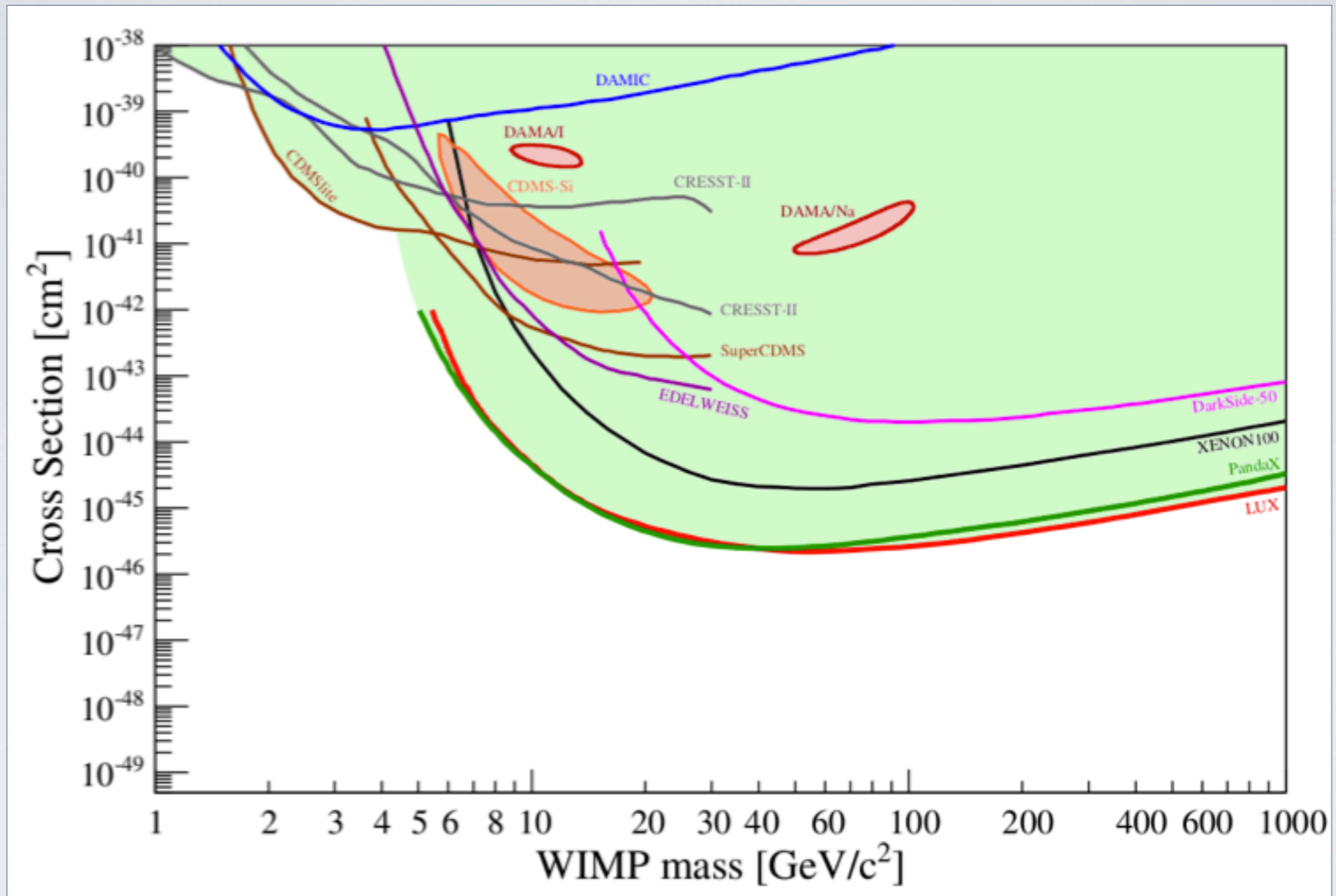
Massa van DM

DD



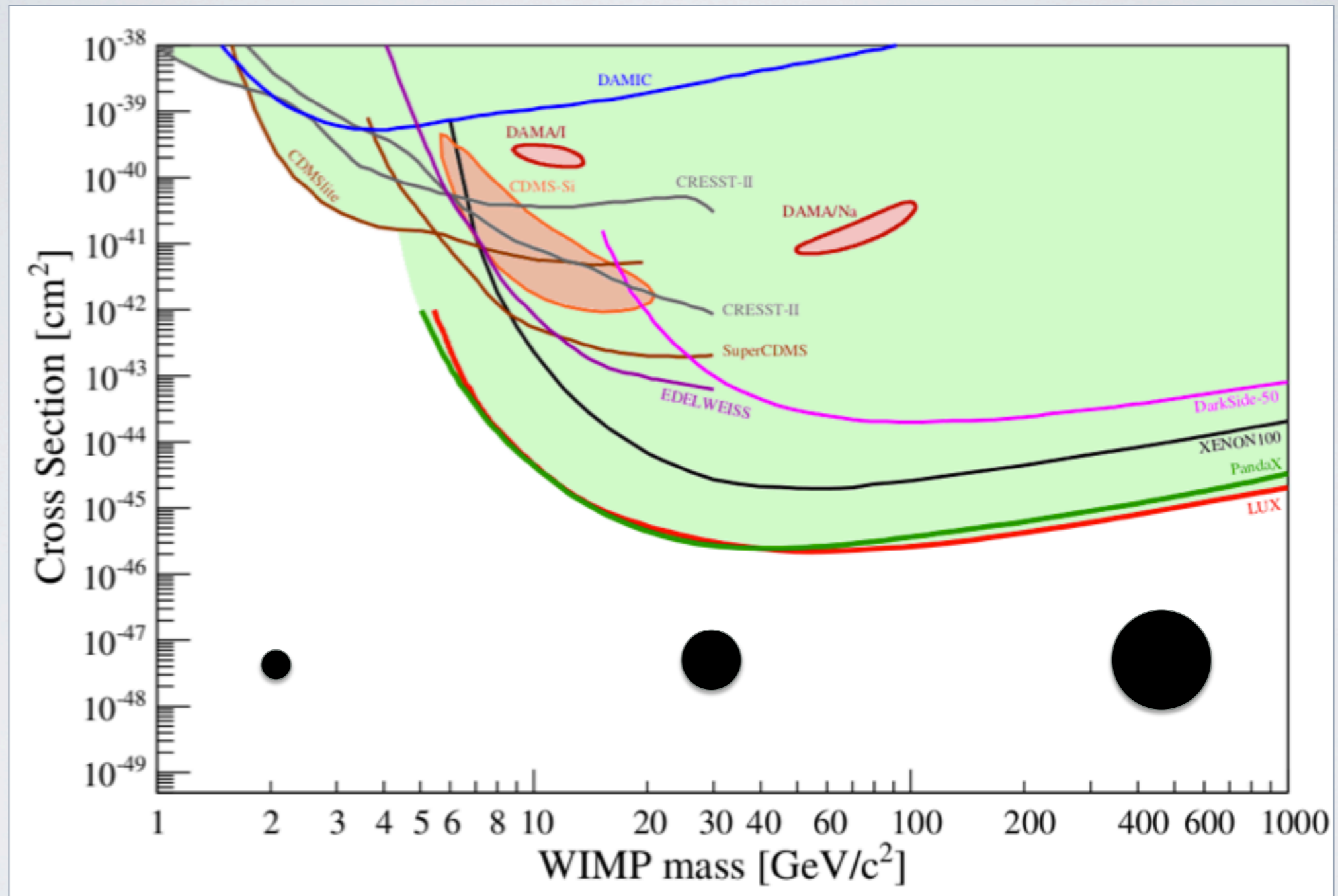
➤ Sinds 1997: detecties?

DD



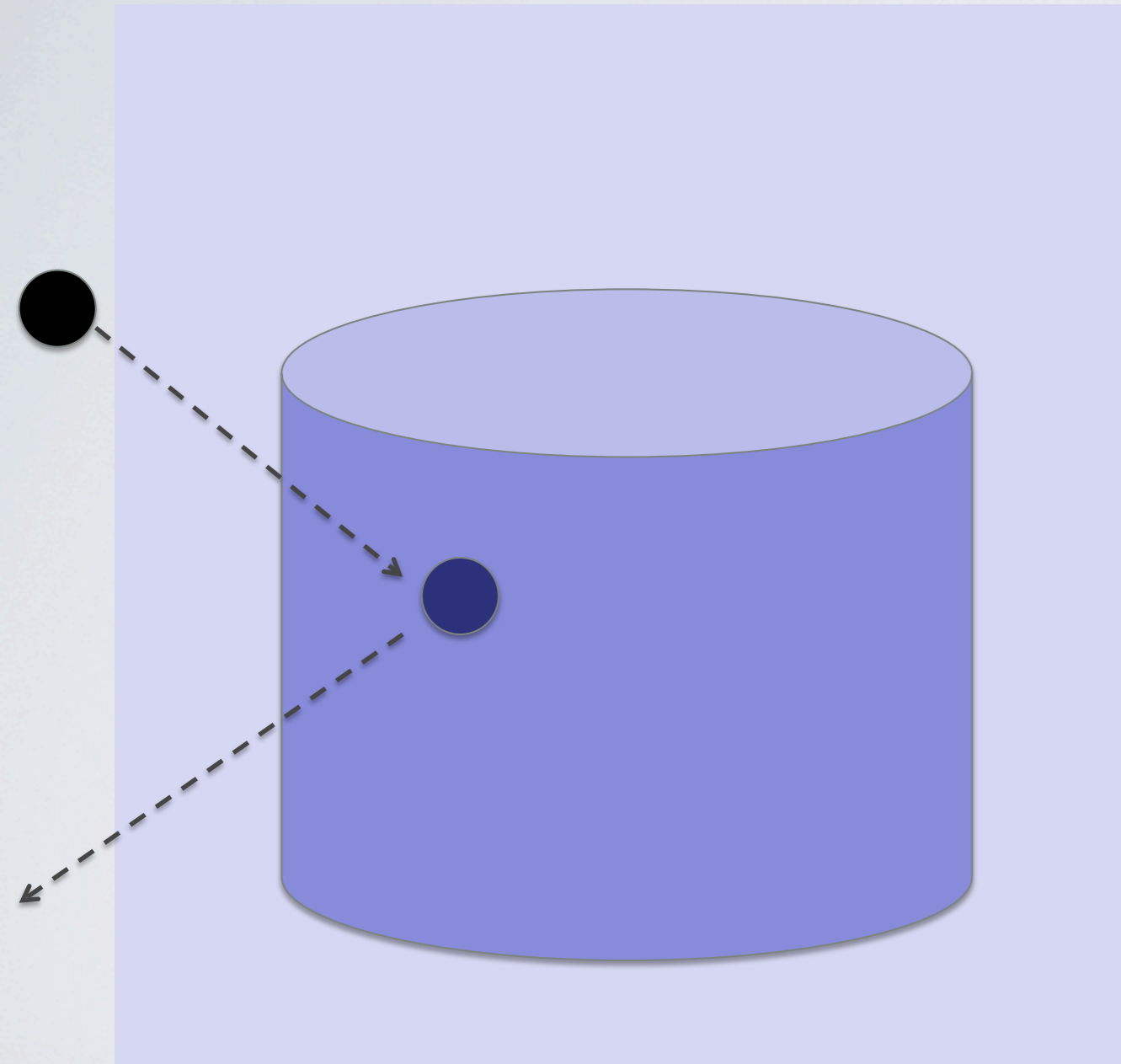
➤ Uitgesloten door gevoeliger experimenten

DD



➤ Gevoeligheid hangt af van massa

DD limieten



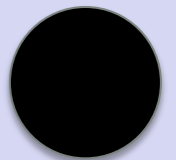
Lage massa

- Kleine botsingsenergie



Hoge massa

- Genoeg botsingsenergie
- Dichtheid neemt af

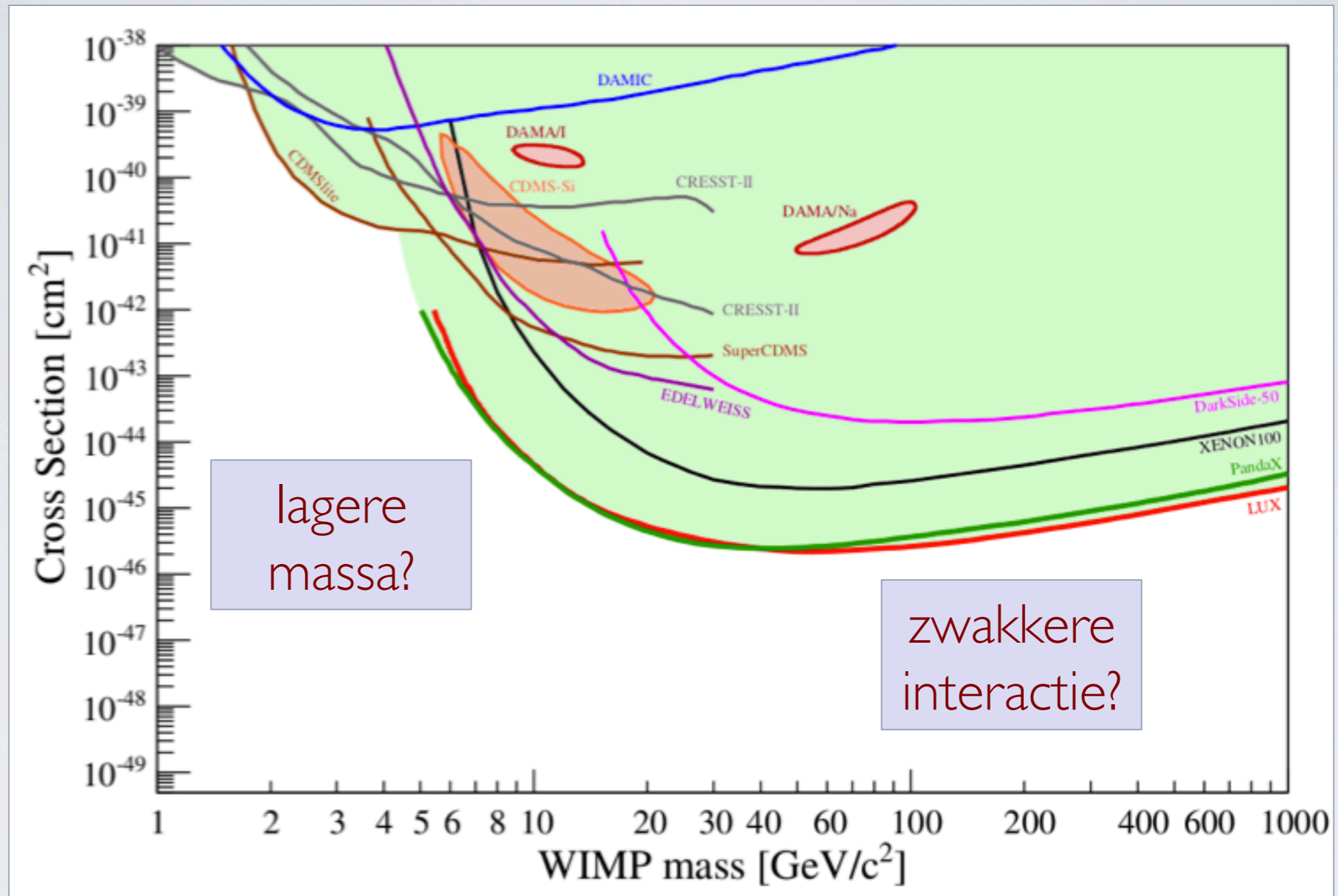


Gemiddelde massa

- Beste gevoeligheid



DD



➤ Nog veel mogelijkheden

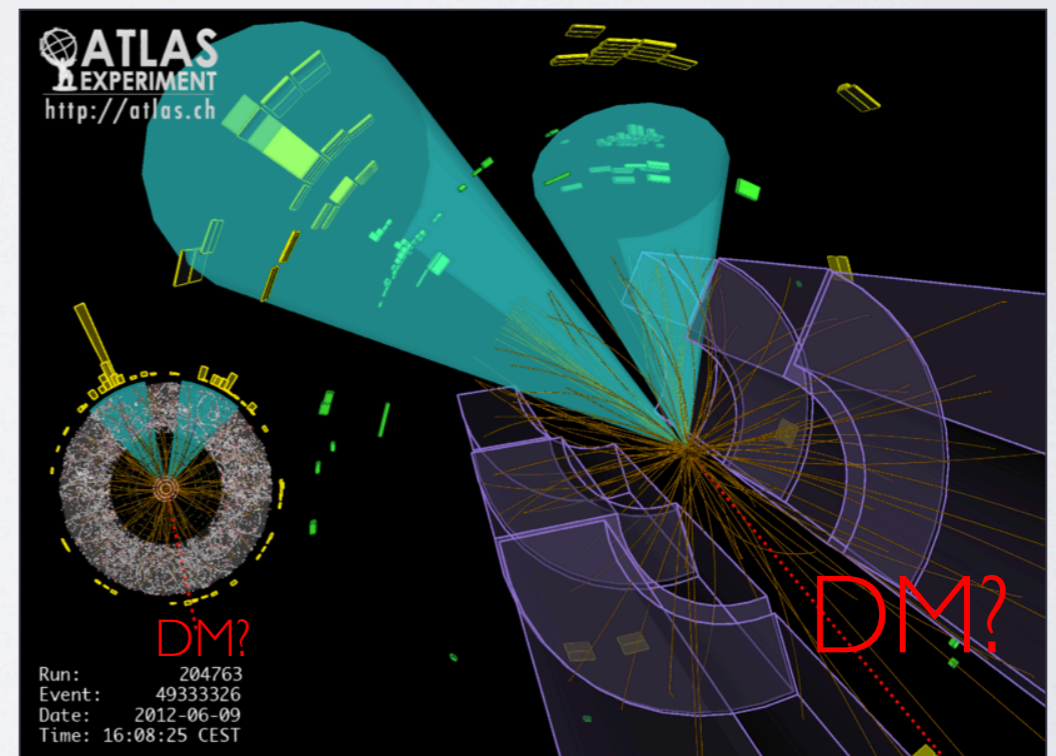
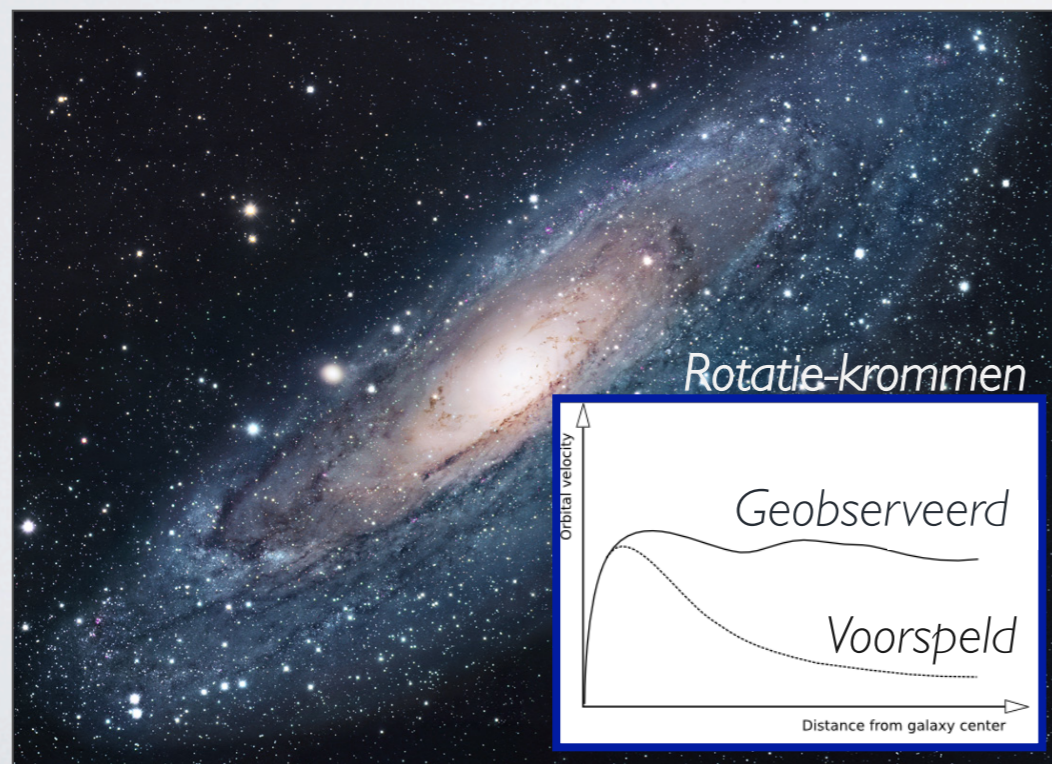
Zoeken met de LHC

Astronomie: waarnemen in ruimte

- Donker - niet zichtbaar
- Interactie: zwaartekracht

LHC: Produceren in botsing

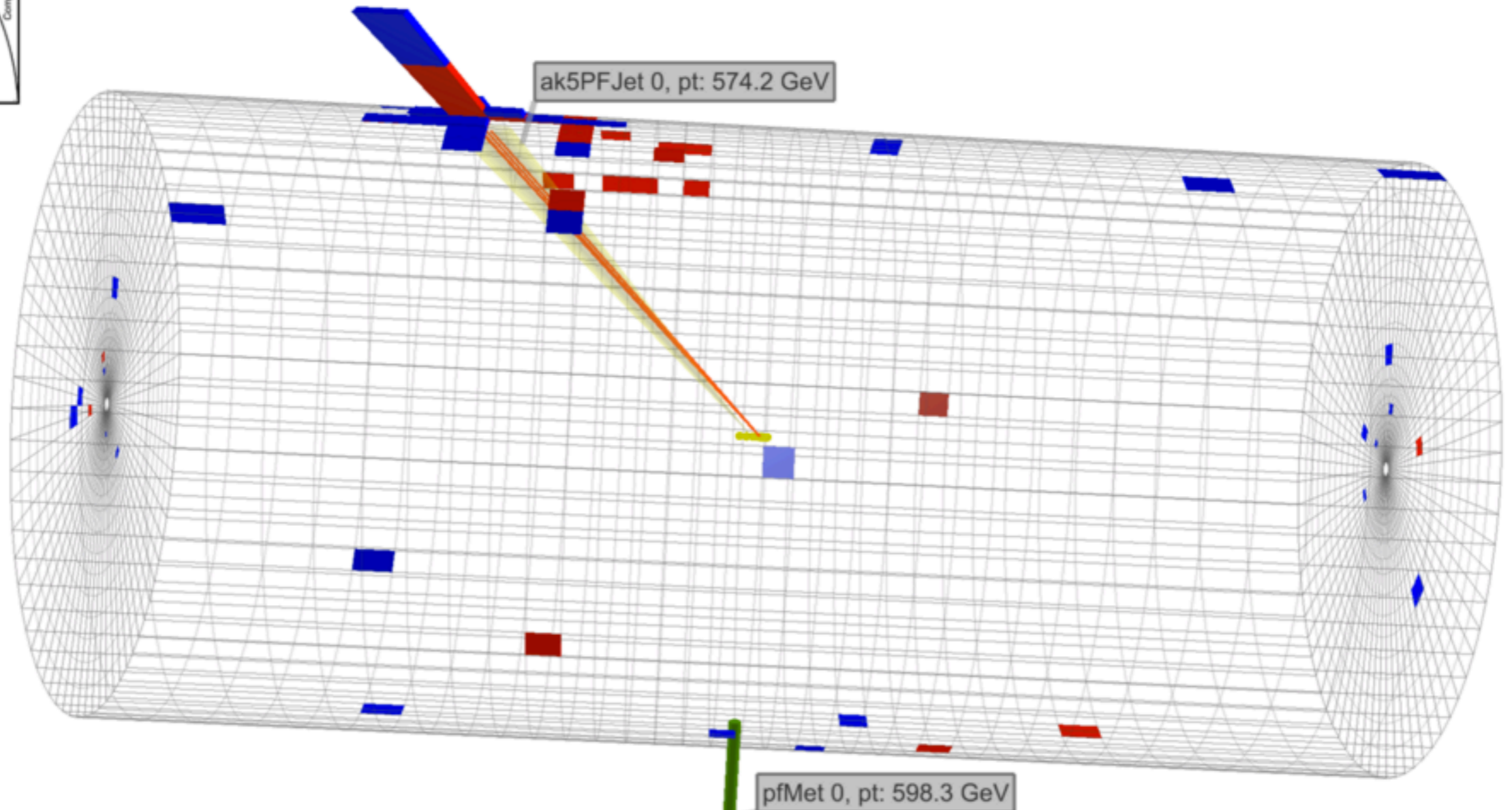
- Geen interactie met detector
- Energie disbalans



DM@LHC: monojet

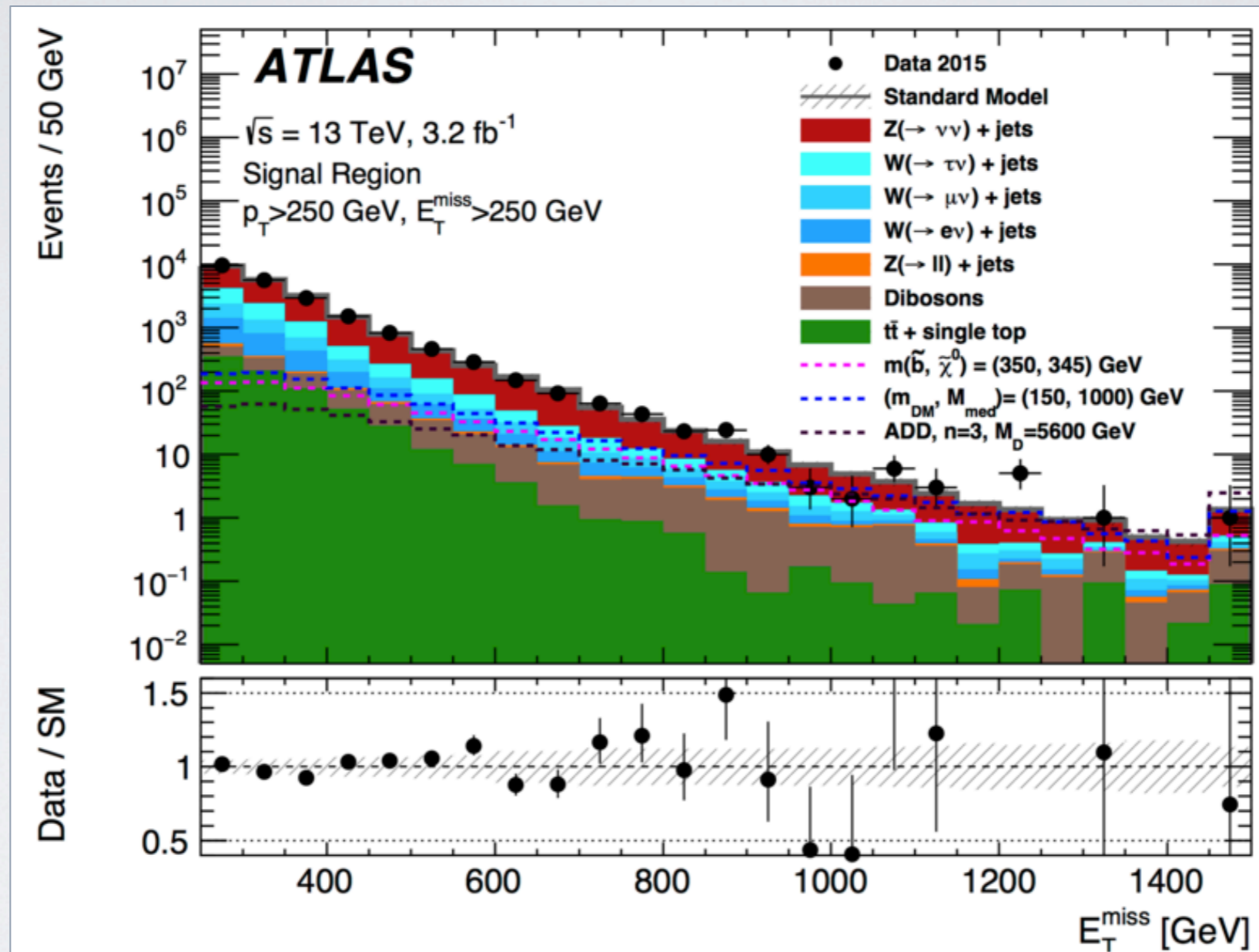


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Tue Oct 4 02:50:32 2011 CEST
Run/Event: 177783 / 442962676
Lumi section: 273



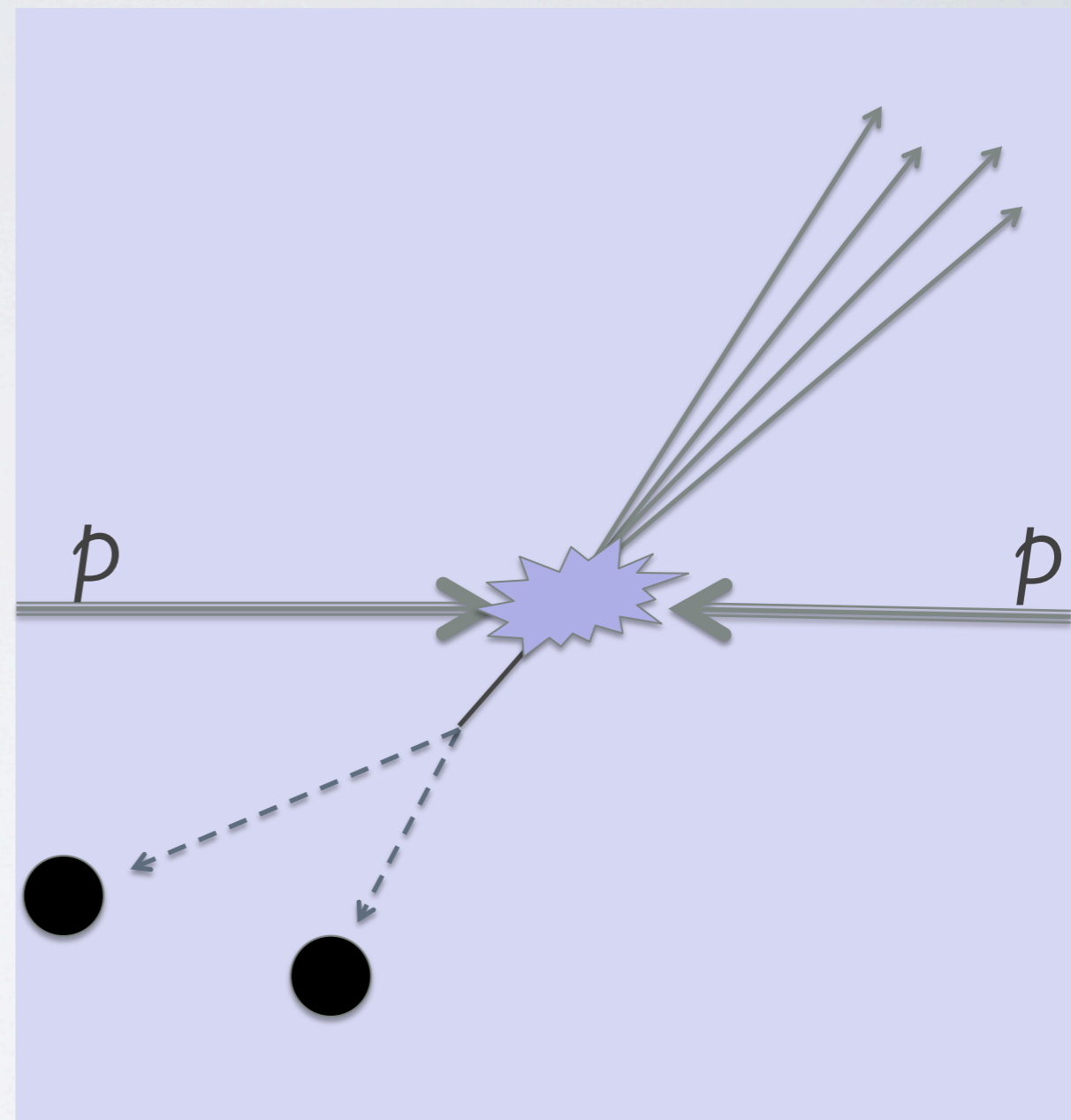
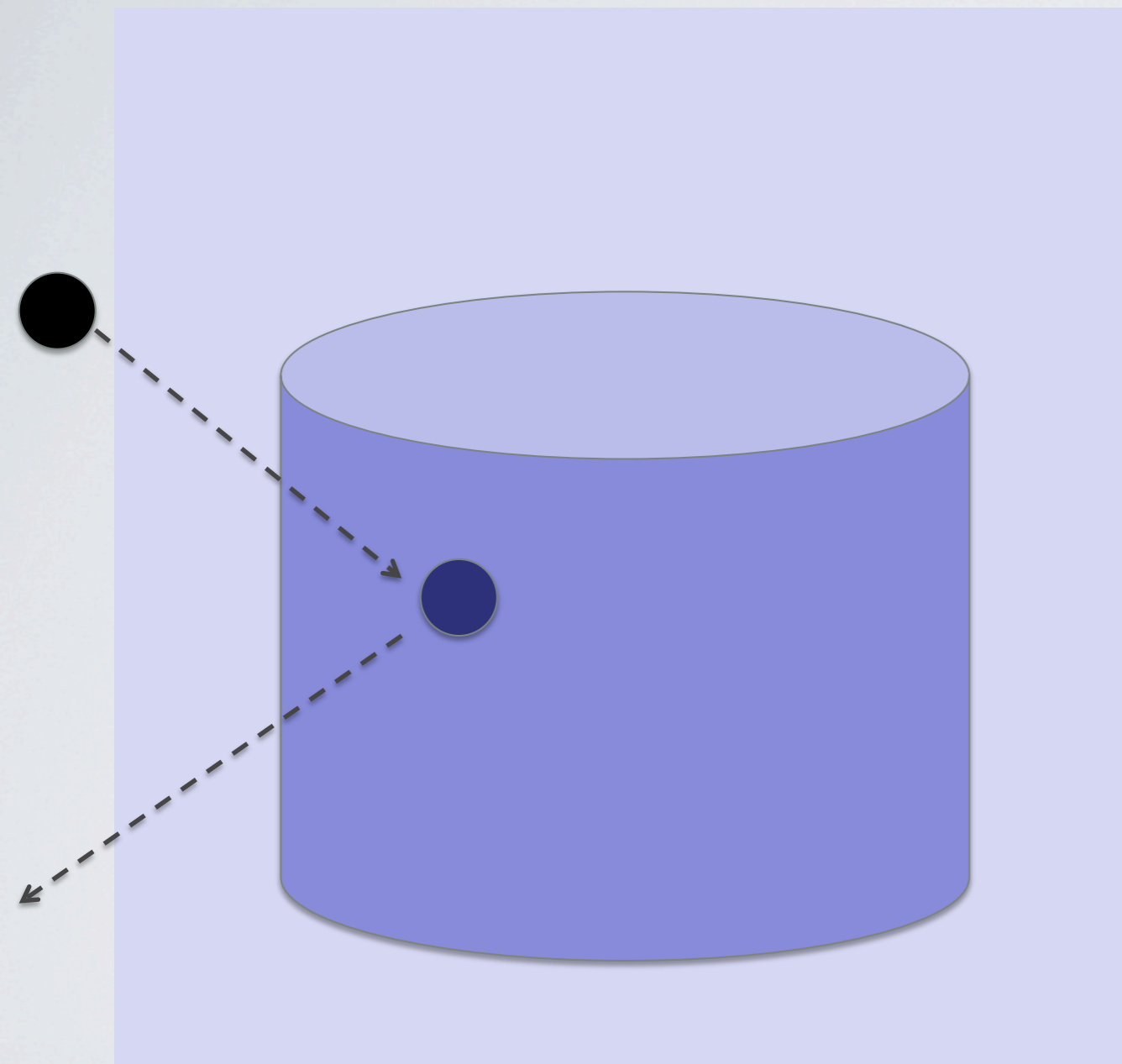
Donkere  Materie?

DM+jets



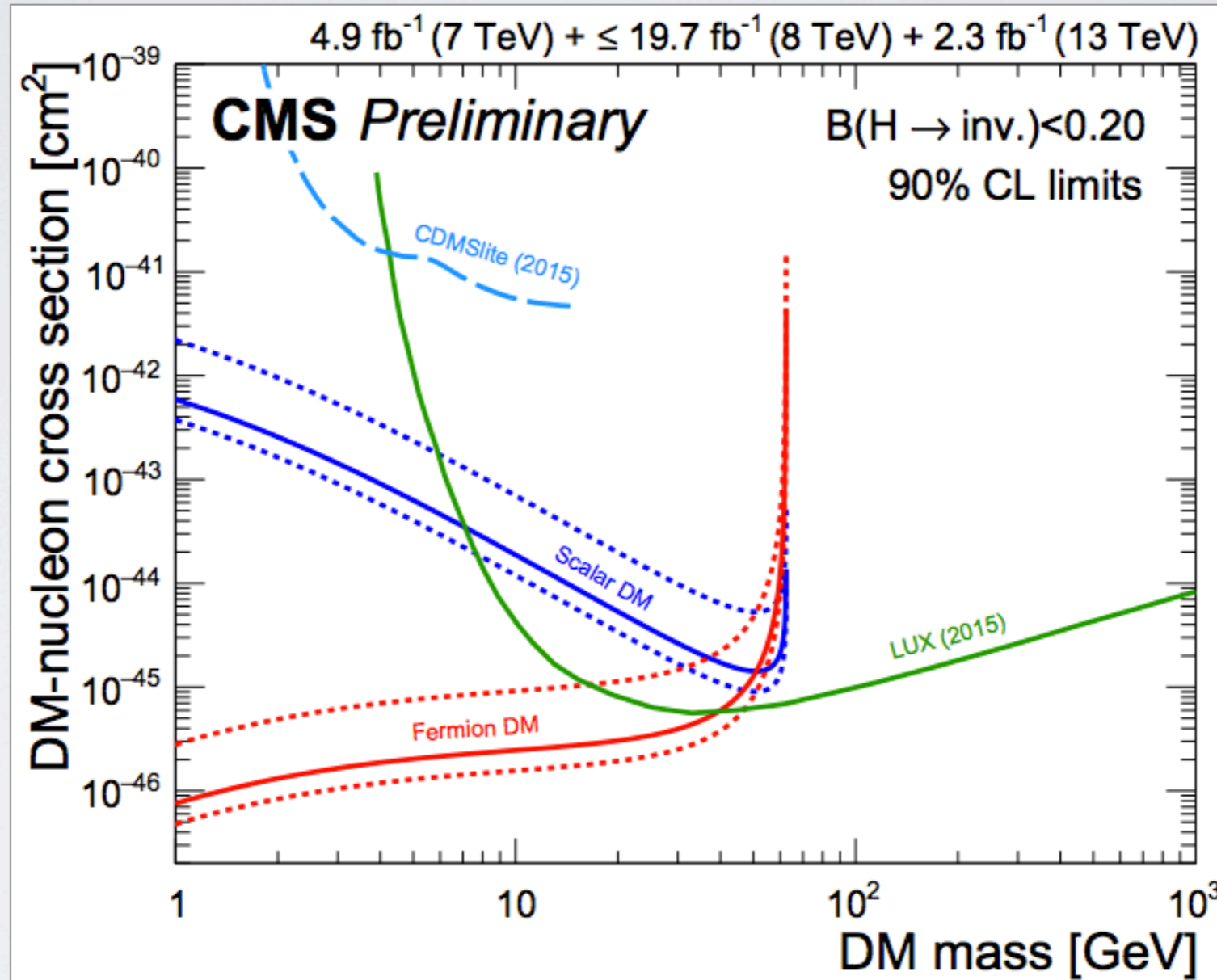
➤ Grootste achtergrond: Z($\nu\nu$) + jets

DD & LHC



LHC & DD

cds.cern.ch/record/2201136

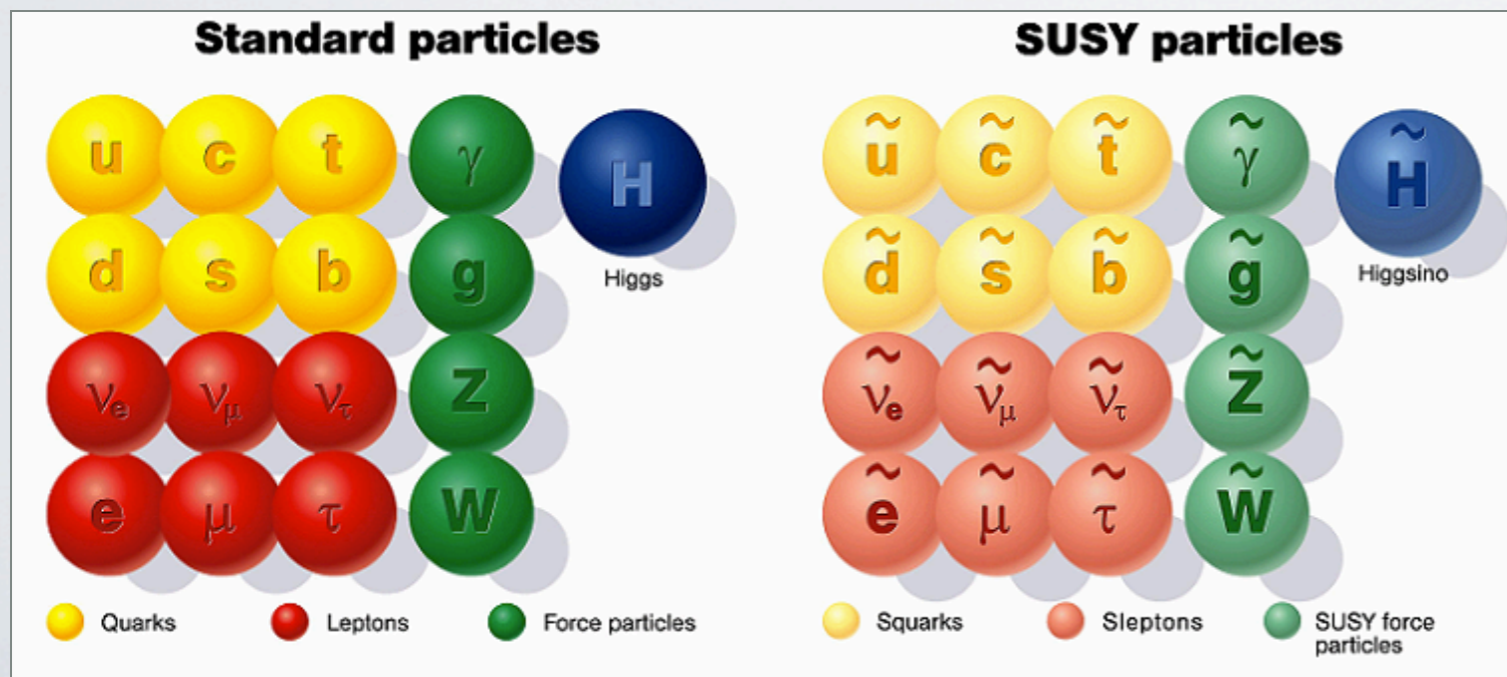
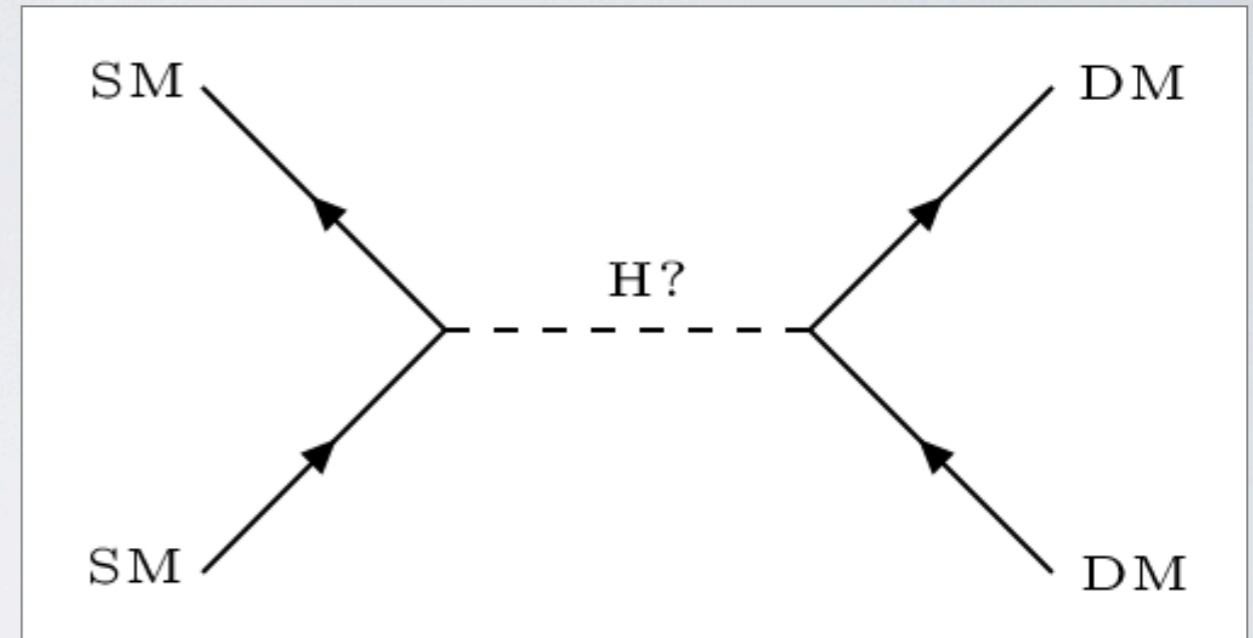


➤ Complémentaire informatie!

Modellen

Boodschapperdeeltje?

- Verbinding SM-DM?
 - Higgs boson?
 - Onzichtbare Higgs!

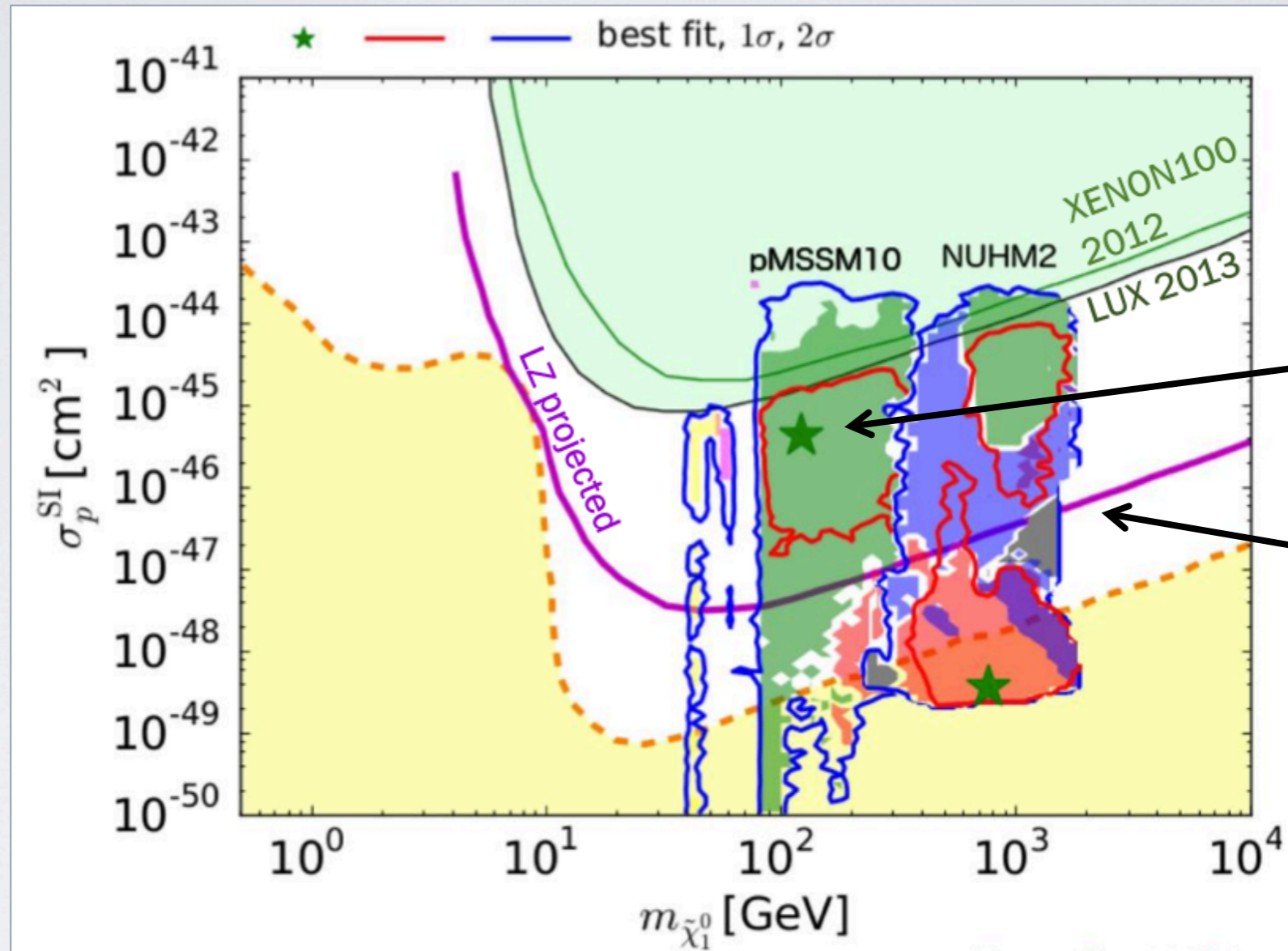


Supersymmetrie

- 'Superpartners'
 - DM-deeltje = Lichtste Susy Partner?

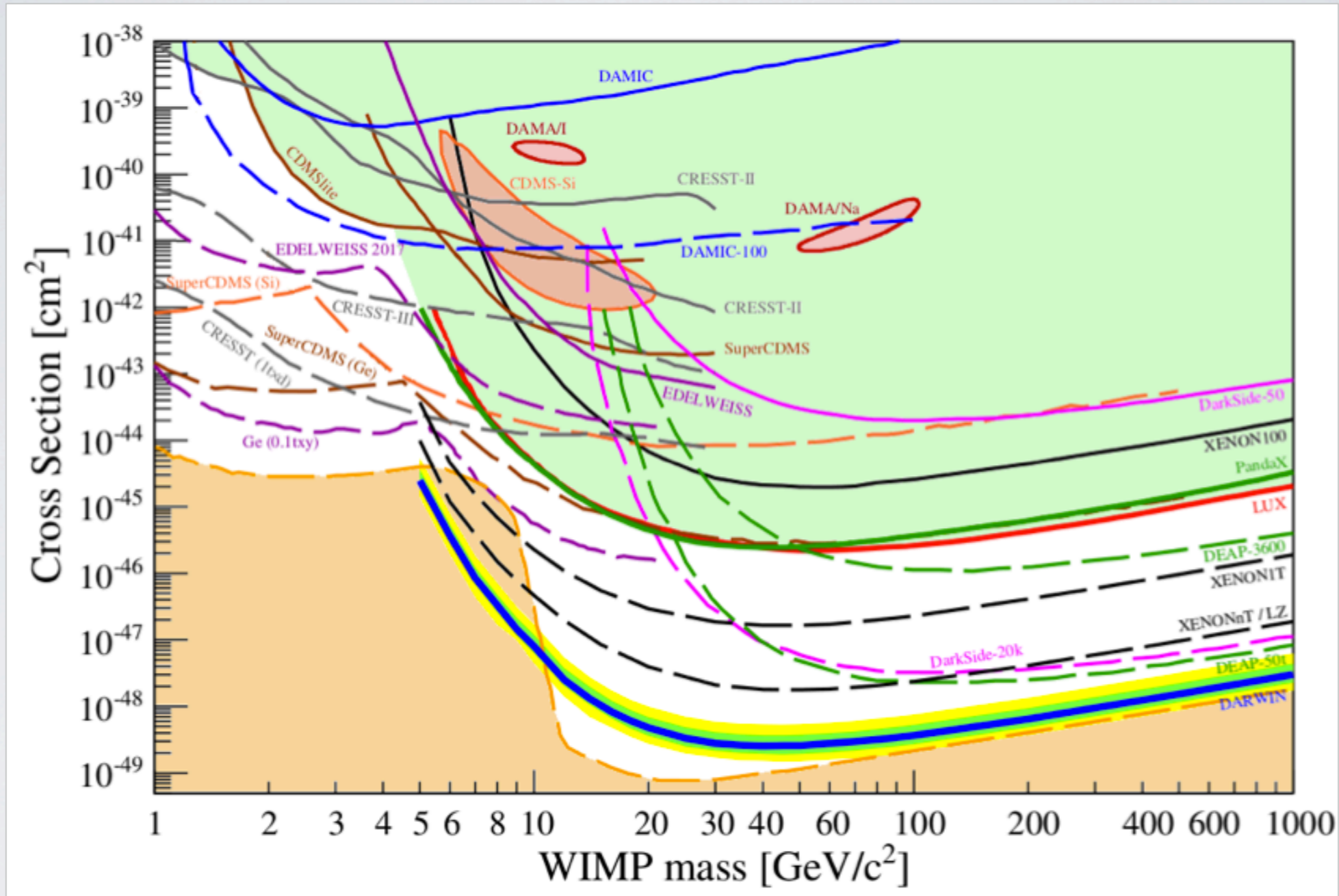
LHC & DD

arXiv/1508.01173



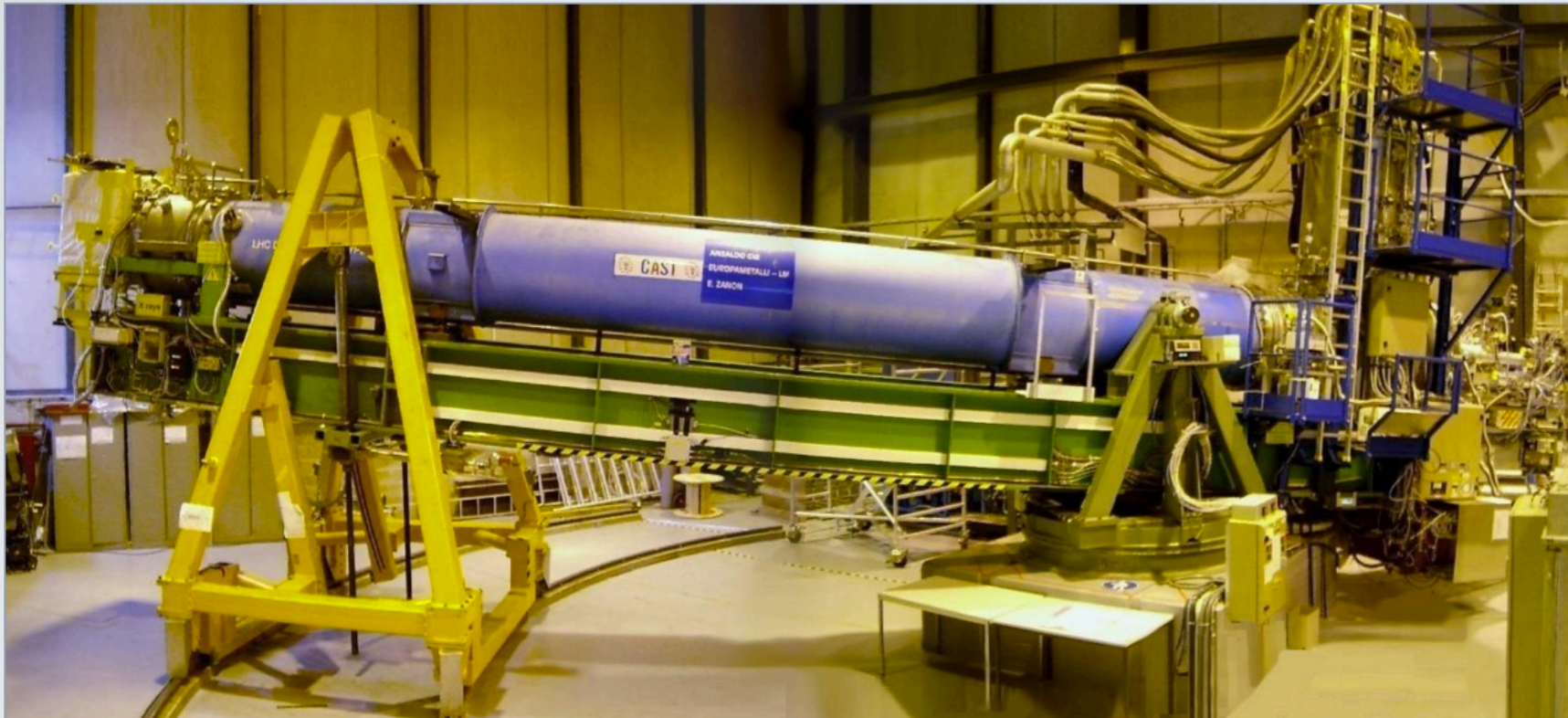
➤ LHC & DD vullen elkaar aan

De nabije toekomst



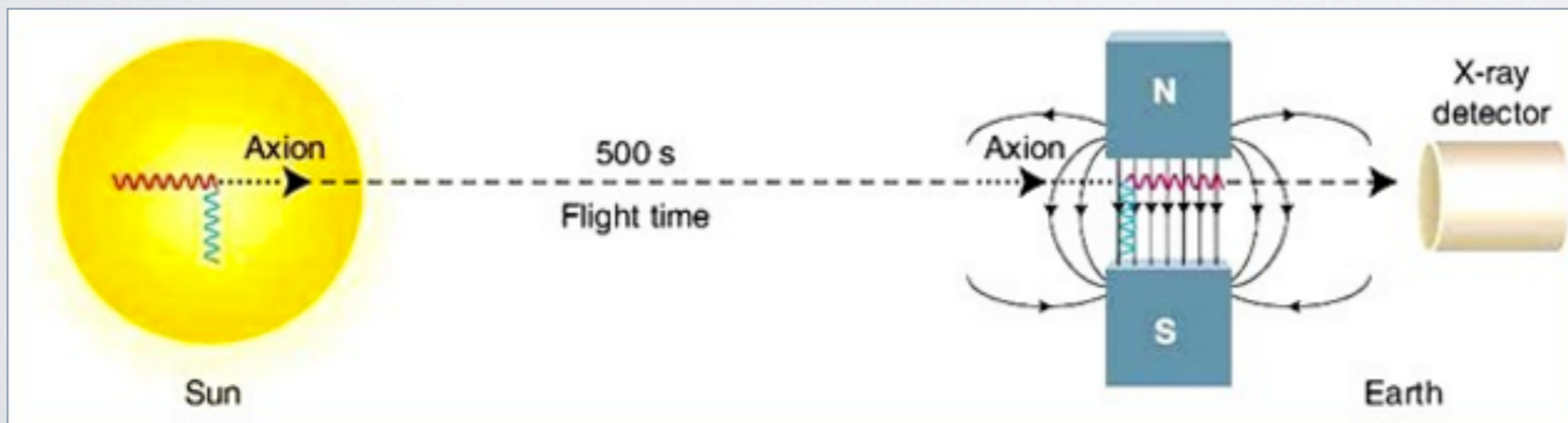
- Komende jaren belangrijk voor de zoektocht naar DM!

Alternatieven?

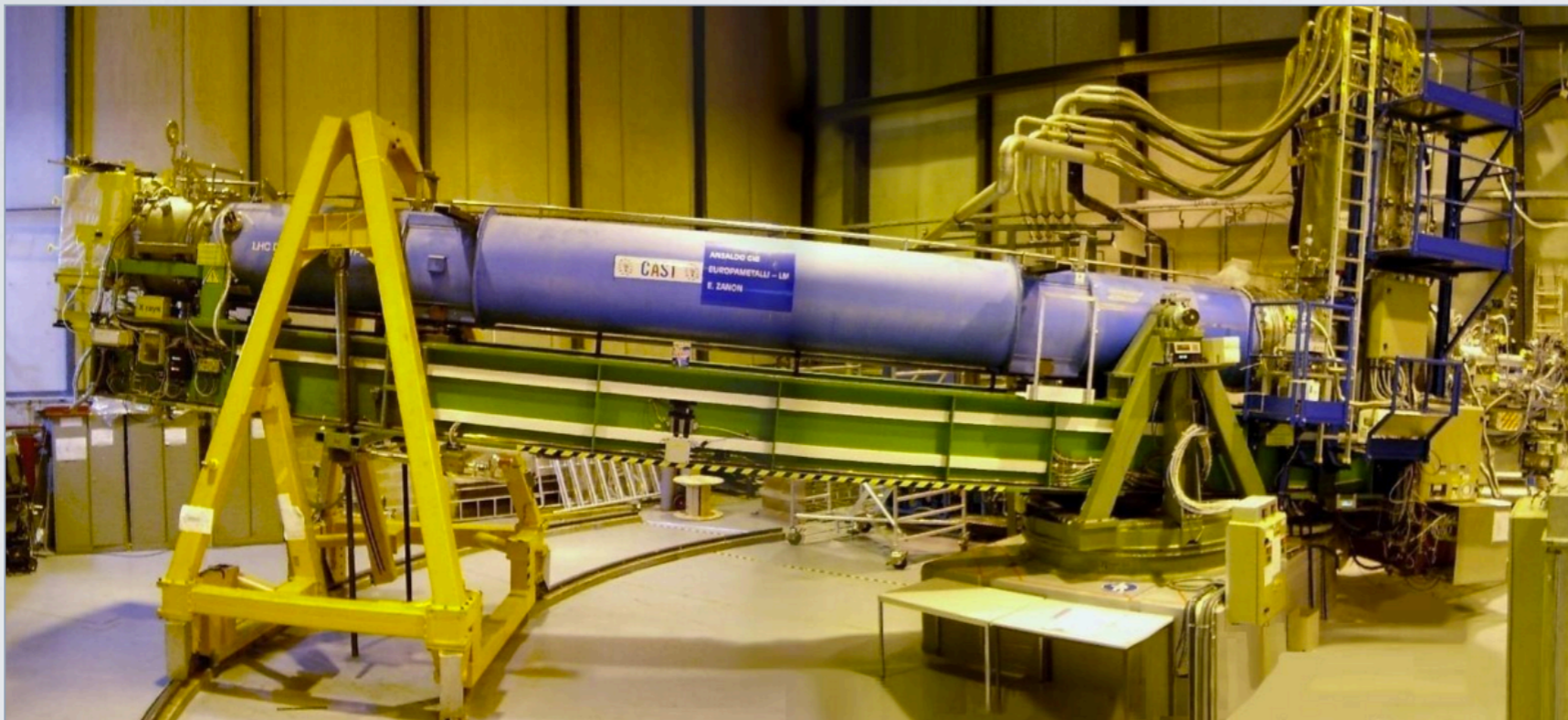


Axionen

- Cast @ CERN
- LHC-magneet



Alternatieven?



Axionen

- Cast @ CERN
- LHC-magneet

Gemodificeerde zwaartekracht?

- E. Verlinde (UvA)



There's dark energy, dark matter, normal matter, and they all interact.

*Bedankt voor
jullie aandacht*



We blijven zoeken!

#DMatLHC

@tristan_dupree

tristan.dupree@cern.ch

Referenties & leesmateriaal

#DarkMatter @ AmsterdamSciencePark

Leesmateriaal

Nikhef: nikhef.nl



Atlas: nikhef.nl/programma/atlas

Xenon IT: nikhef.nl/programma/xenonIt

Theorie:

nikhef.nl/programma/theoretische-fysica
& iop.fnwi.uva.nl/grappa/

- 'A History of Dark Matter': arxiv.org/abs/1605.04909
- 'The Dark Matter app': <http://goo.gl/aM2HWp>
- A. Bosma: lam.fr/anciennes-pages-d-equipe/dynamique-des-galaxies/article/homepage-of-albert-bosma
- Perimeter Instituut: perimeterinstitute.ca/news/what-we-know-and-what-we-dont-about-dark-matter
- 'Starts with a Bang' (E. Siegel): scienceblogs.com/startswithabang/?s=dark+matter

TeVPA conferentie: indico.cern.ch/event/469963/timetable/

Recente conferentie-presentaties

DD@TeVPA: indico.cern.ch/event/469963/contributions/2277617/

en indico.cern.ch/event/469963/sessions/206681/#20160912

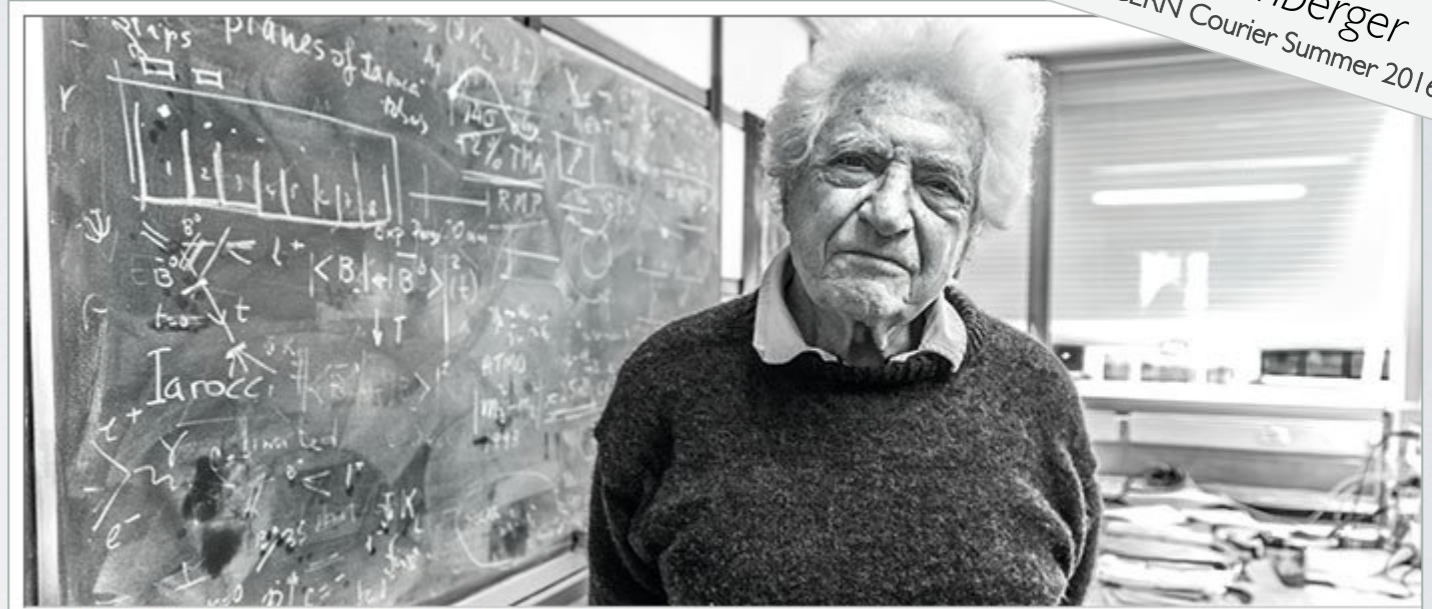
Axions@TeVPA: indico.cern.ch/event/469963/contributions/2277618/

DM@LHC: indico.ictp.it/event/7627/session/76/contribution/470/material/slides/

Theorie & experiment

Electron-Positron (e^+e^-) collisions. The results of this and the other LEP experiments, he says, "dominated CERN physics, perhaps the world's, for a dozen or more years, with crucial precise measurements that confirmed the Standard Model of the unified electroweak and strong interactions".

These days, Jack still comes to CERN with the same curiosity for the field that he always had. He says he is "trying to learn astrophysics, in spite of my mental deficiencies", and thinks that the most interesting question today is dark matter. "You have a Standard Model which does not predict everything and it does not predict dark matter, but you can conceive of mechanisms for making dark matter in the Standard Model," he says. "You don't know if you really understand it, but you can imagine it. And I am not the only one who doesn't know."



Jack Steinberger photographed in his office at CERN in 2016.

J. Steinberger
CERN Courier Summer 2016



from the sky, like Dark Energy, DM, baryogenesis and neutrino mass. The picture repeatedly suggested by the data in the last 20 years is simple and clear: take the SM, extended to include Majorana neutrinos, which can explain the smallness of active neutrino masses by the see-saw mechanism and baryogenesis through leptogenesis, plus some form of DM, as valid up to some very high energy. Indeed at present in particle physics the most crucial experimental problem is the nature of DM. In this case a vast variety of possible solutions exist from WIMPs to axions or to keV sterile neutrinos or.... Clearly

G. Altarelli
arXiv:1407.2122