



Rotary

Nieuw-Vennep

22 mei 2018

**NIKHOF**

# Alles en Niks

VAN DE OERKNAL TOT HIGGS

Niels Tuning



Alles en niks

wat leert het allerkleinste ons

over het allergrootste

# Alles en niks

wat leert het allerkleinste ons

over het allergrootste

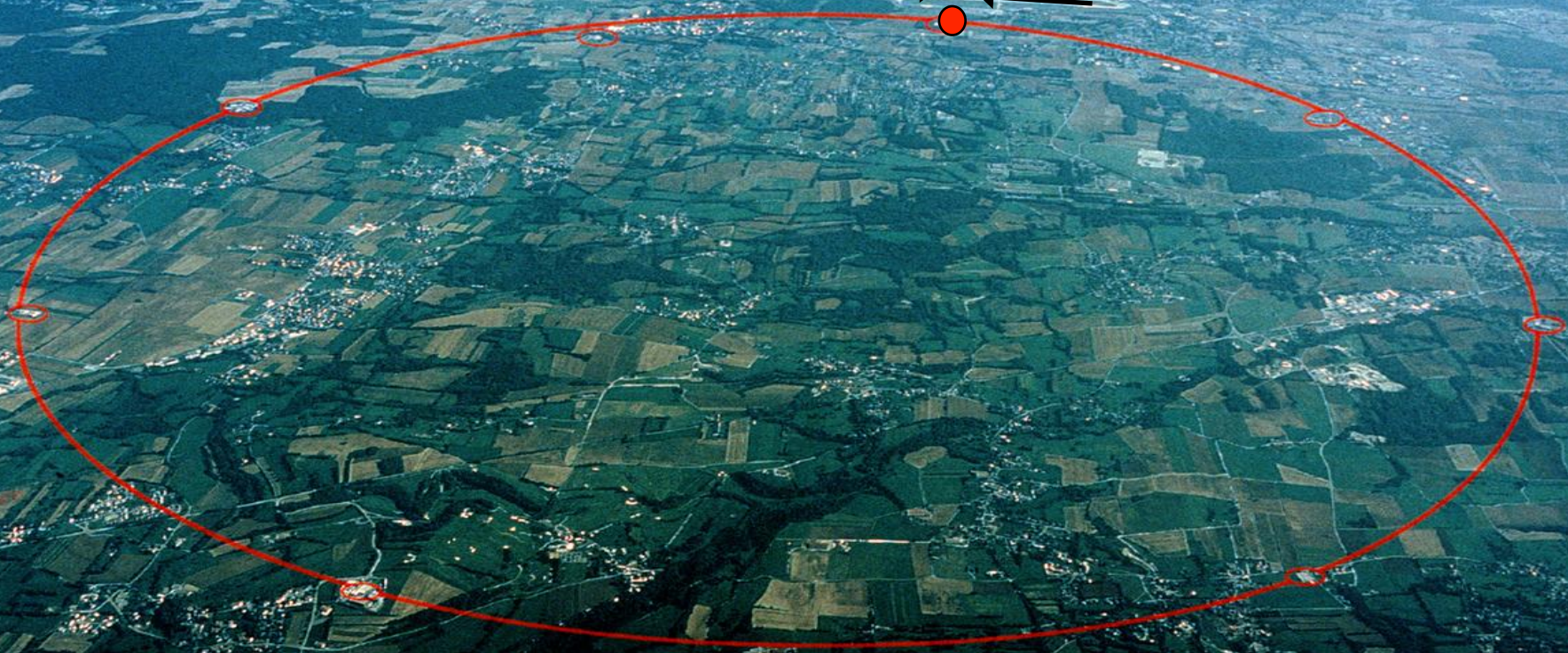
- Versneller
- De oerknal
- Higgs en anti-materie



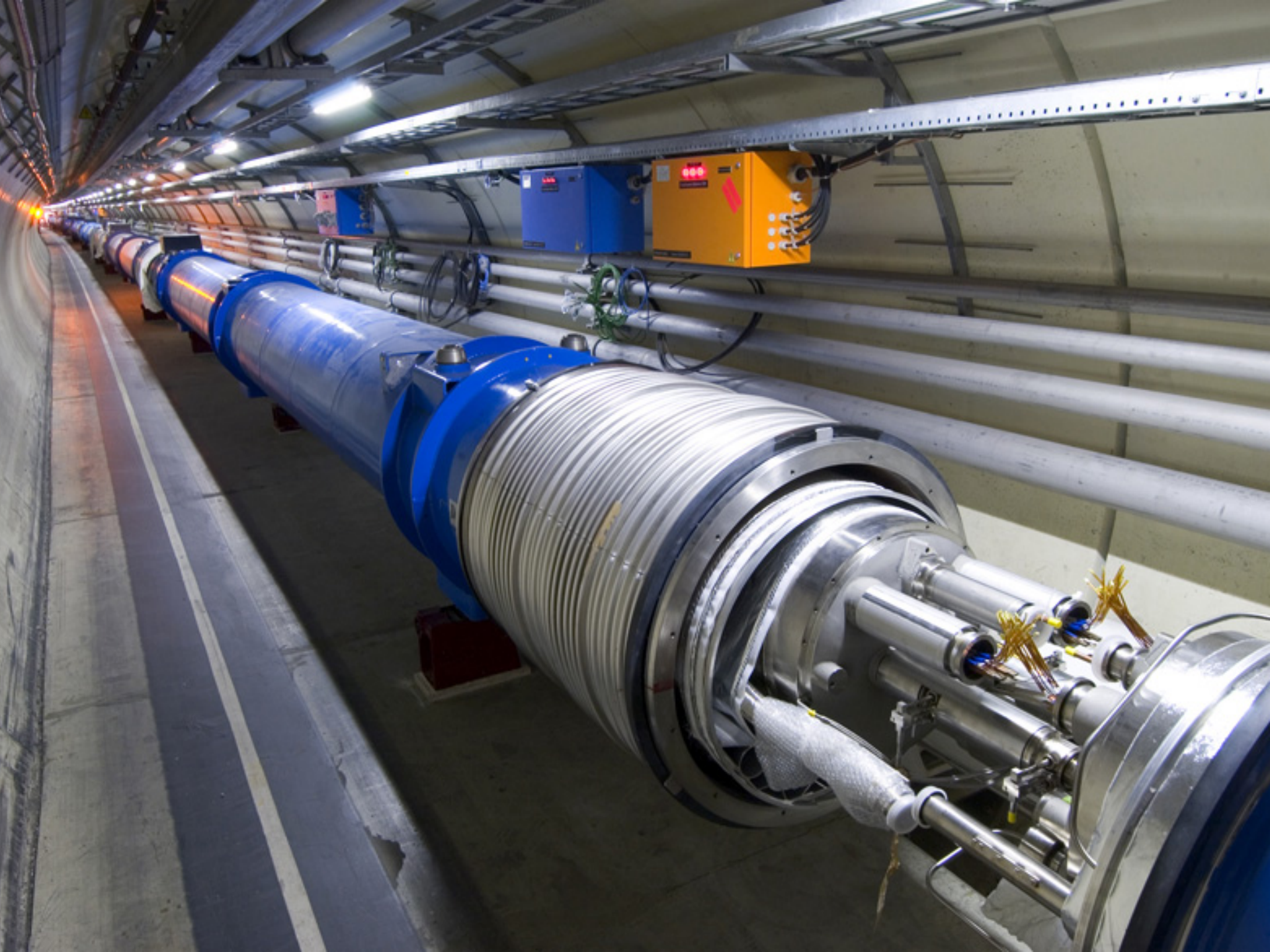


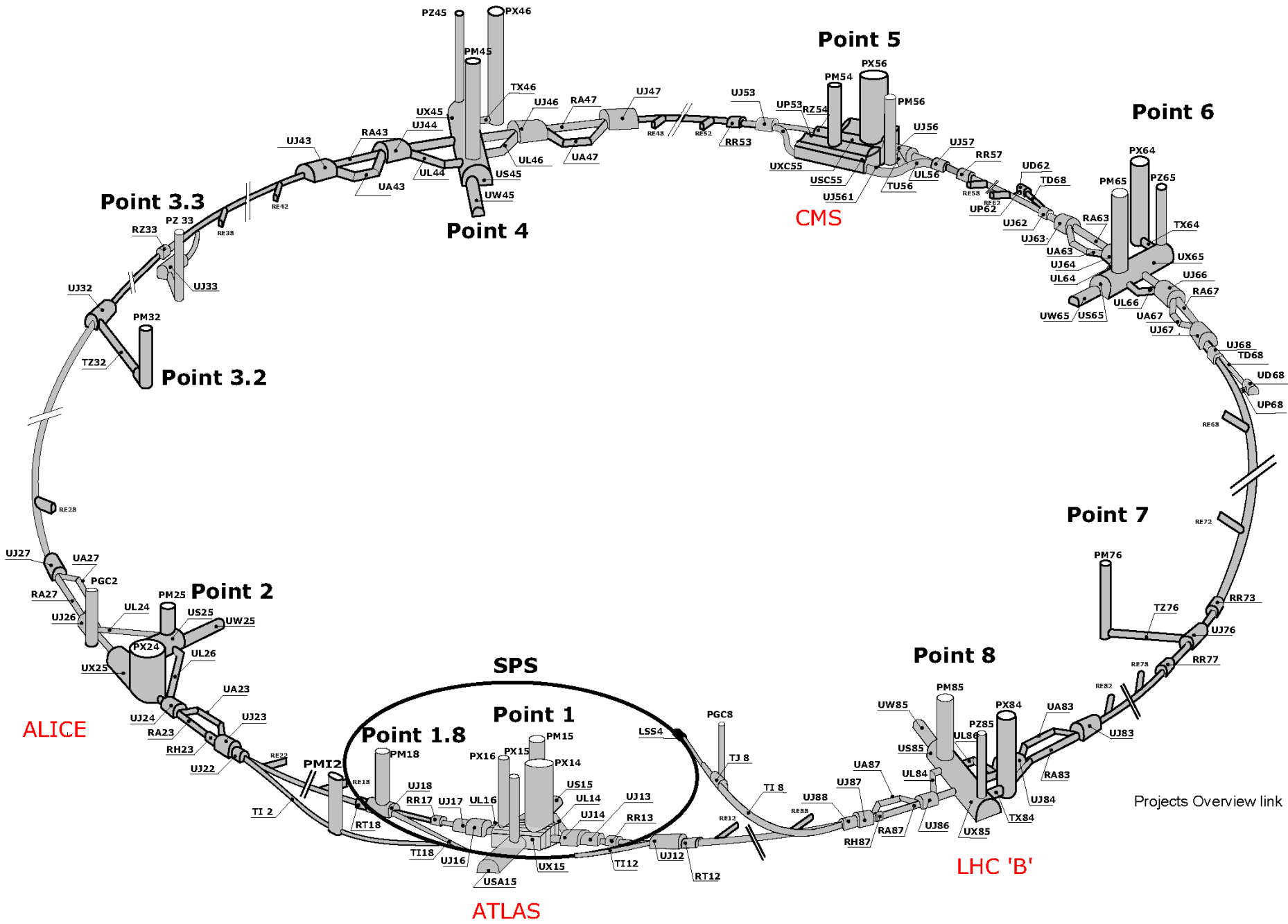
proton

proton









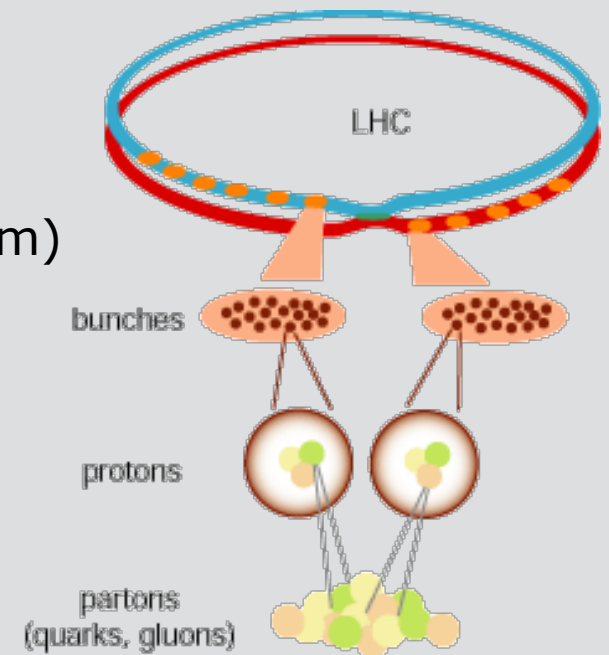


# LHC: live

- <http://op-webtools.web.cern.ch/op-webtools/vistar/vistars.php?usr=LHC1>
- <https://www.i2u2.org/elab/cms/event-display/>

## LHC in getallen

- 1232 “dipool” magneten (totaal 9300)
- 99.99999991% van lichtsnelheid
- 2556 “bunches” met elk  $10^{11}$  protonen (elke 8m)
- Energieverbruik 120 MW
- Opgeslagen energie: 362 MJ
- Bouwkosten: \$ 4.1 miljard





## LHC in getallen

- 1232 “dipool” magneten (totaal 9300)
- 99.9999991% van lichtsnelheid
- 2808 “bunches” met elk  $10^{12}$  protonen (elke 8m)
- Energieverbruik 120 MW
- Opgeslagen energie: 362 MJ
- Bouwkosten: \$ 4.1 miljard

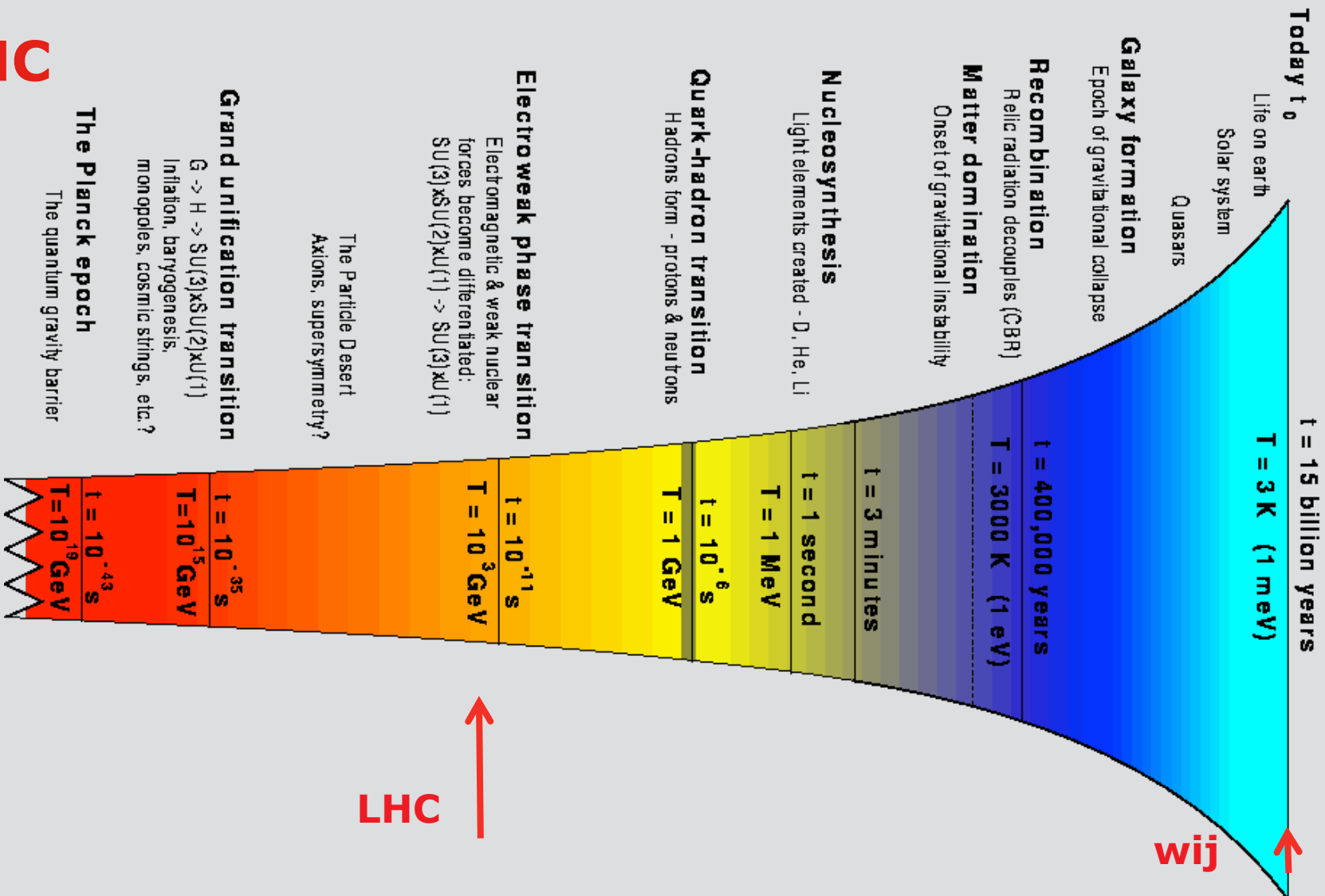


$$E=mc^2$$

## LHC in getallen

- Energie per botsing: 13 TeV
- 13000 x massa van 1 proton
- Zwaar, nieuw deeltje ontdekken?
- Energie in het heelal op  $10^{-11}$  s





LHC

wij



LHC



## Waarom?

- Omdat we willen weten

## Waarom?

- Omdat we willen weten
- De mens verwondert zich
  
- *(Wat is het nut van kunst?)*



Wat is hier gebeurd...?





# Wat is hier gebeurd...?

- Zwaartekracht: alle sterren trekken elkaar aan?





# Wat is hier gebeurd...?

- Zwaartekracht: alle sterren trekken elkaar aan?
- Observatie: alle sterren vliegen van elkaar vandaan!

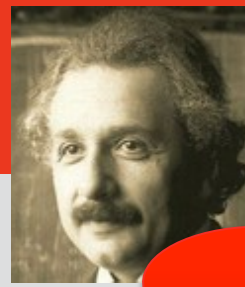
## Big Bang

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling





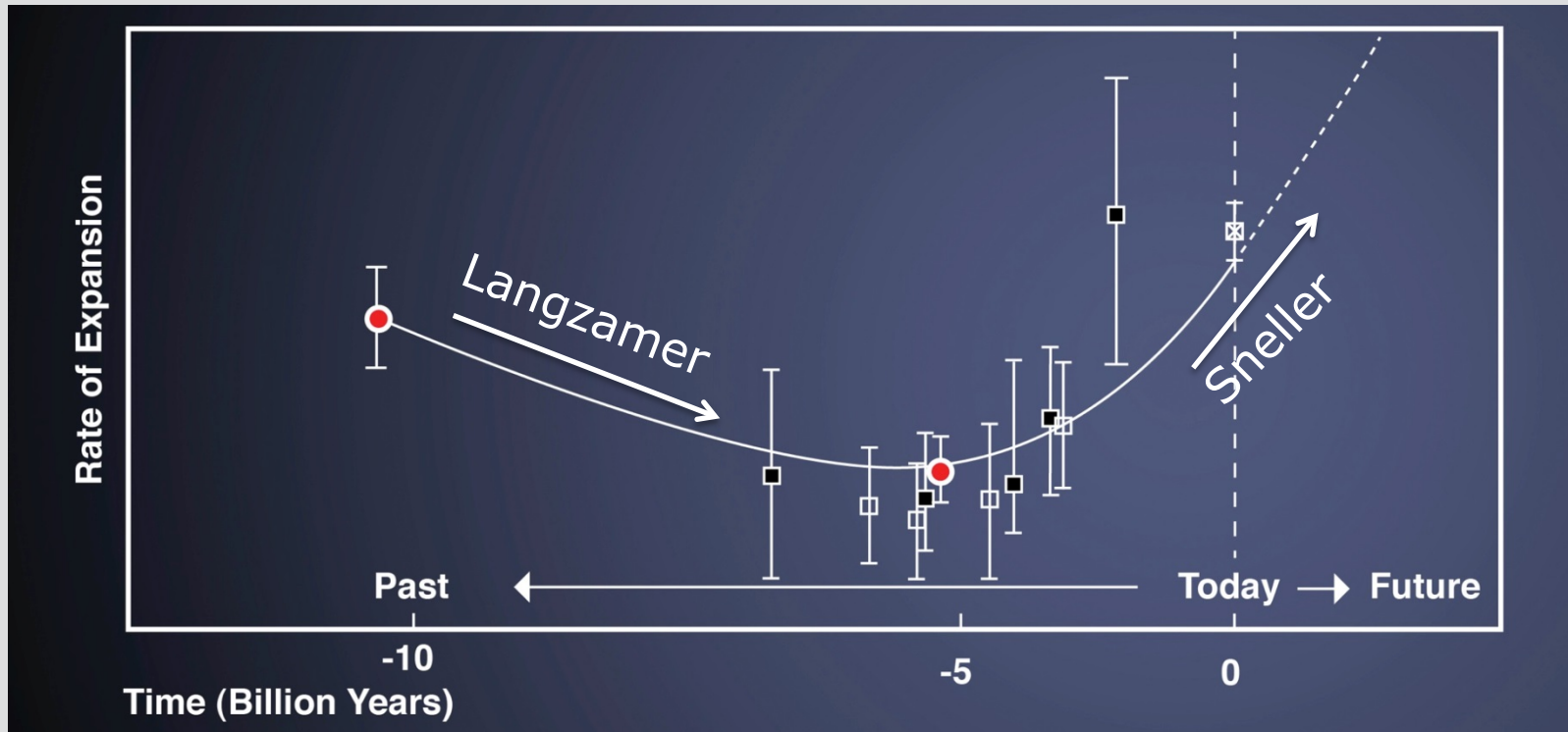




„größte Eselei  
meines Lebens“ ?!

## Uitdijng

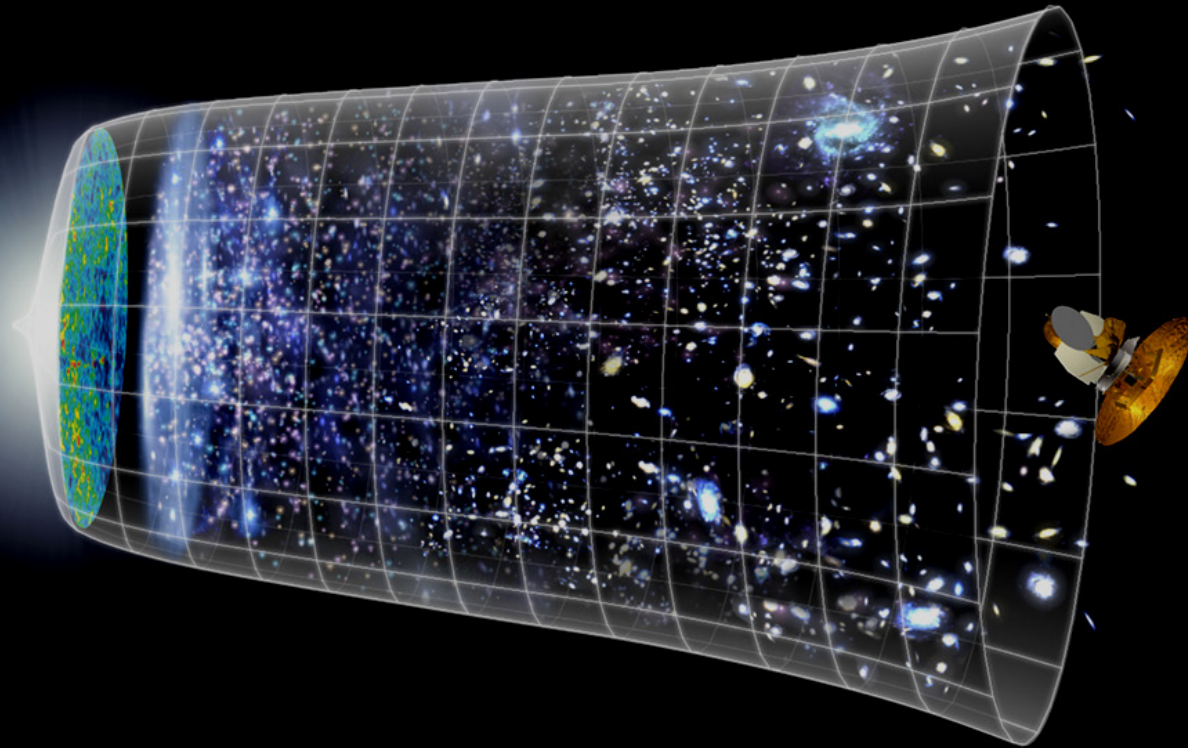
- Heelal dijt versneld uit !
- “Anti-zwaartekracht” → “Donkere energie” → Vacuum energie
- Historisch: **Einstein**’s kosmologische constante





**Wat als we “de film terugdraaien” ... ?!**

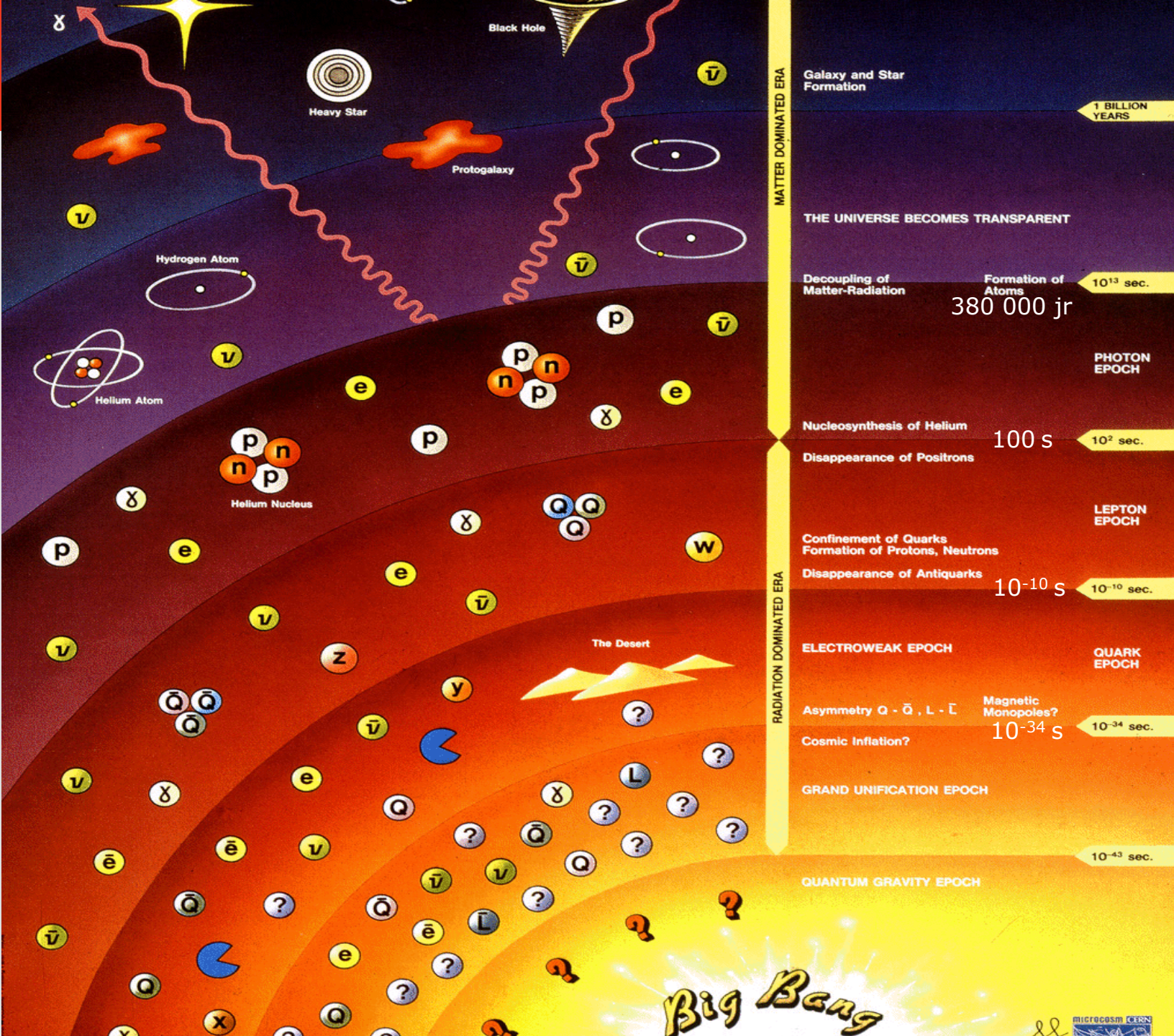
# Hoe ging de Knal ?!



tijd







kosmische  
achtergrond  
straling

Helium

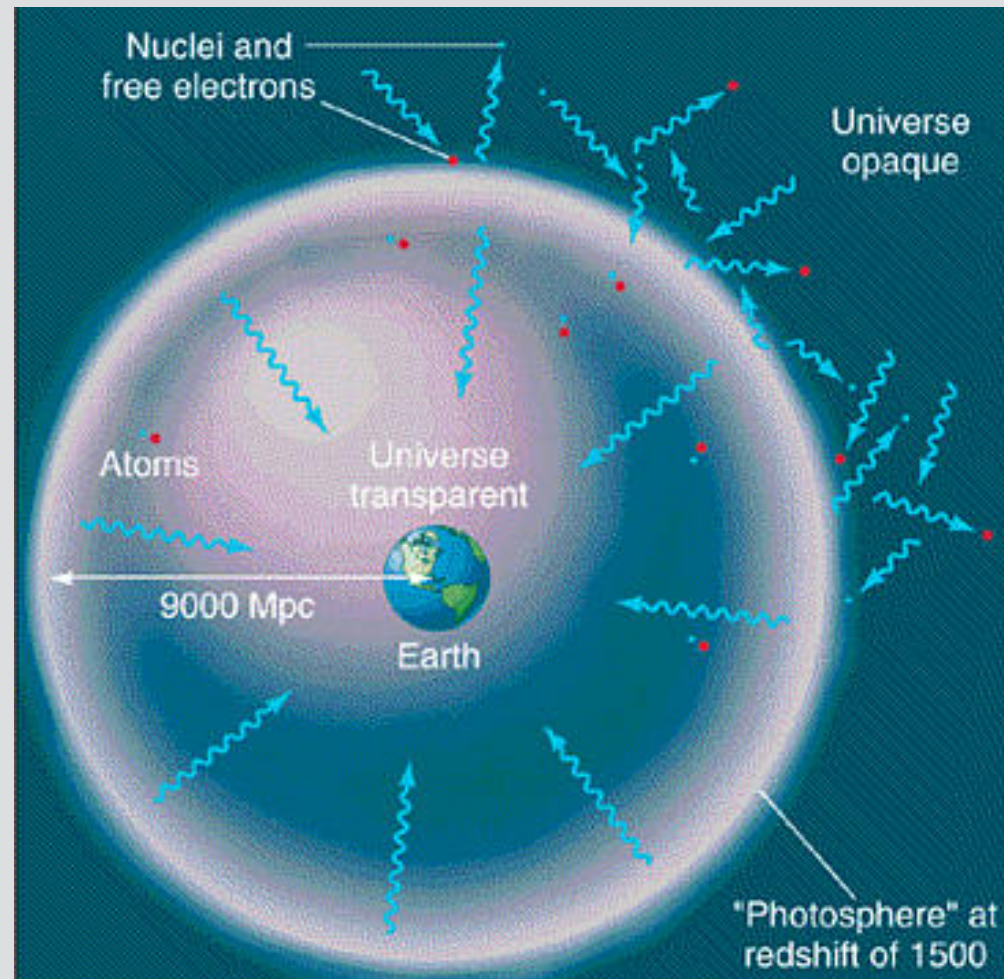
anti-materie

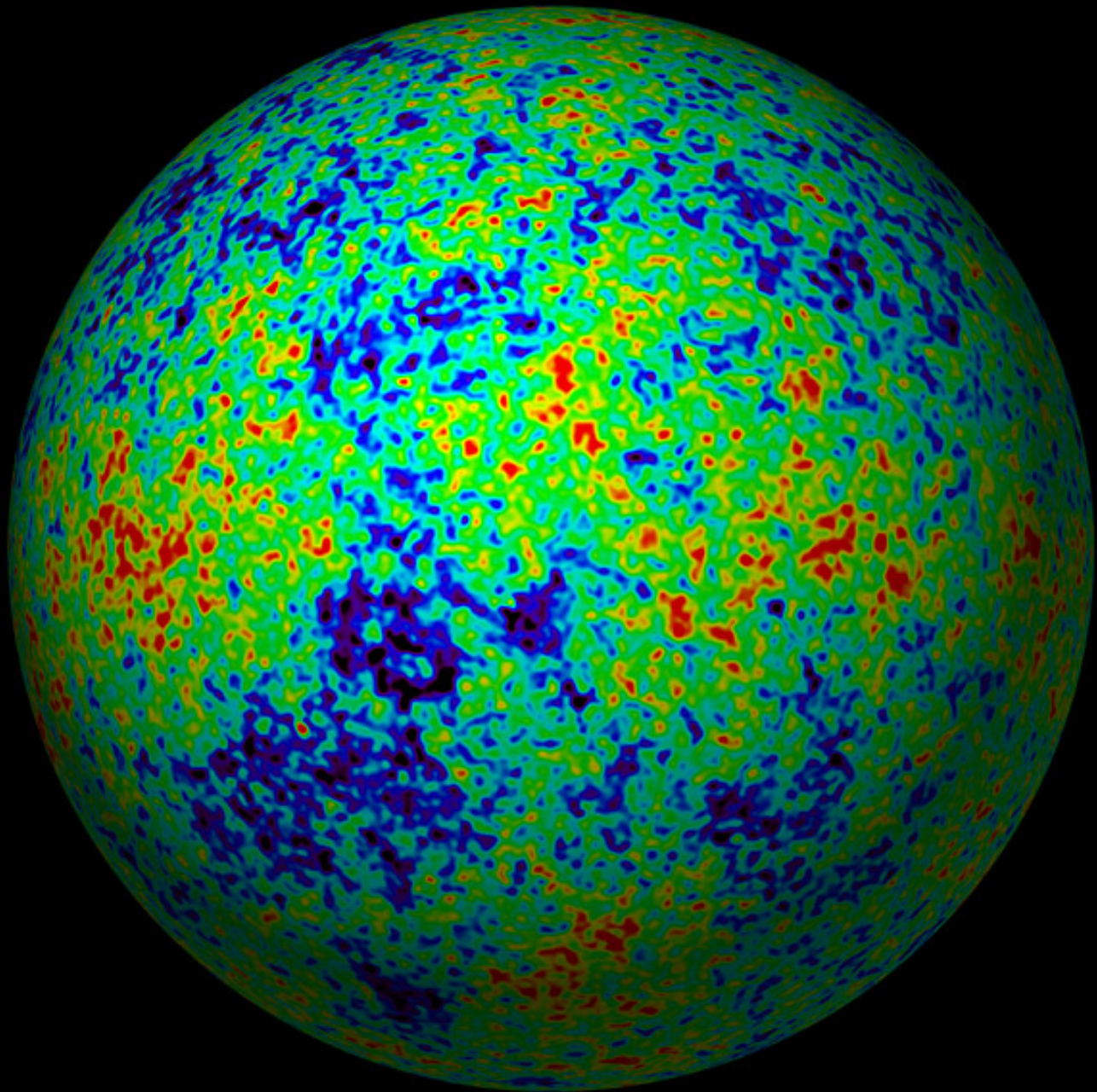
inflatie



# “Kosmische Achtergrond Straling”

- Na 380 000 jaar:  
heelal werd doorzichtig!





## Big Bang

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

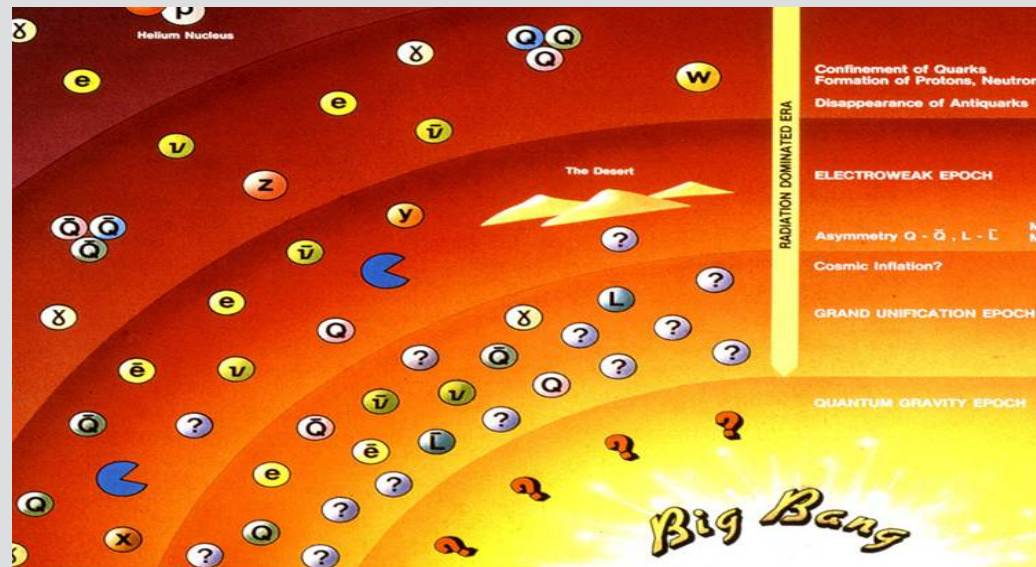


## Big Bang: OK

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

## Maar:

- Waar is alle anti-materie gebleven !?



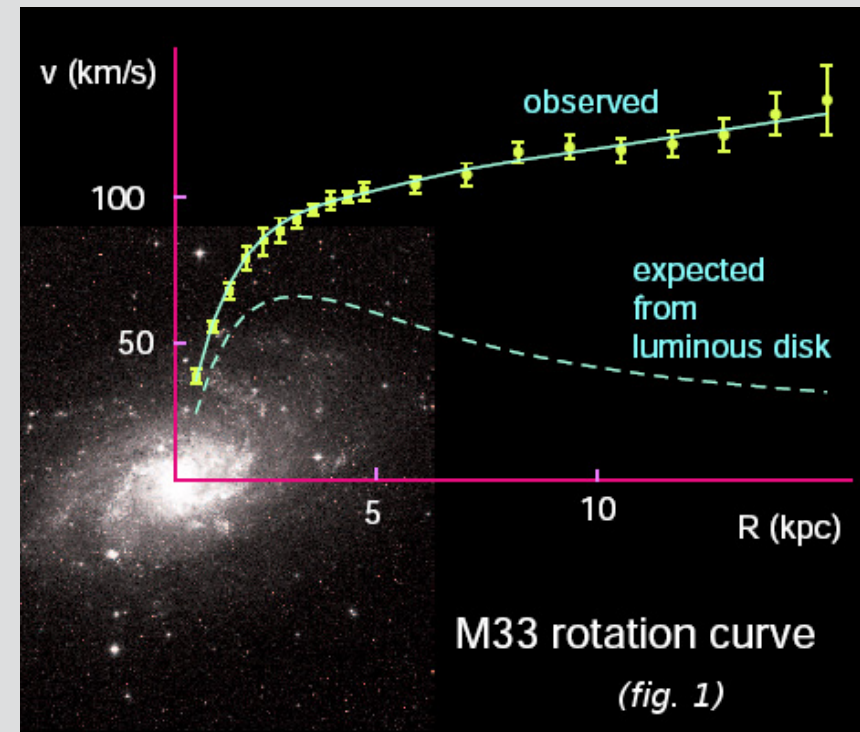


## Big Bang: OK

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

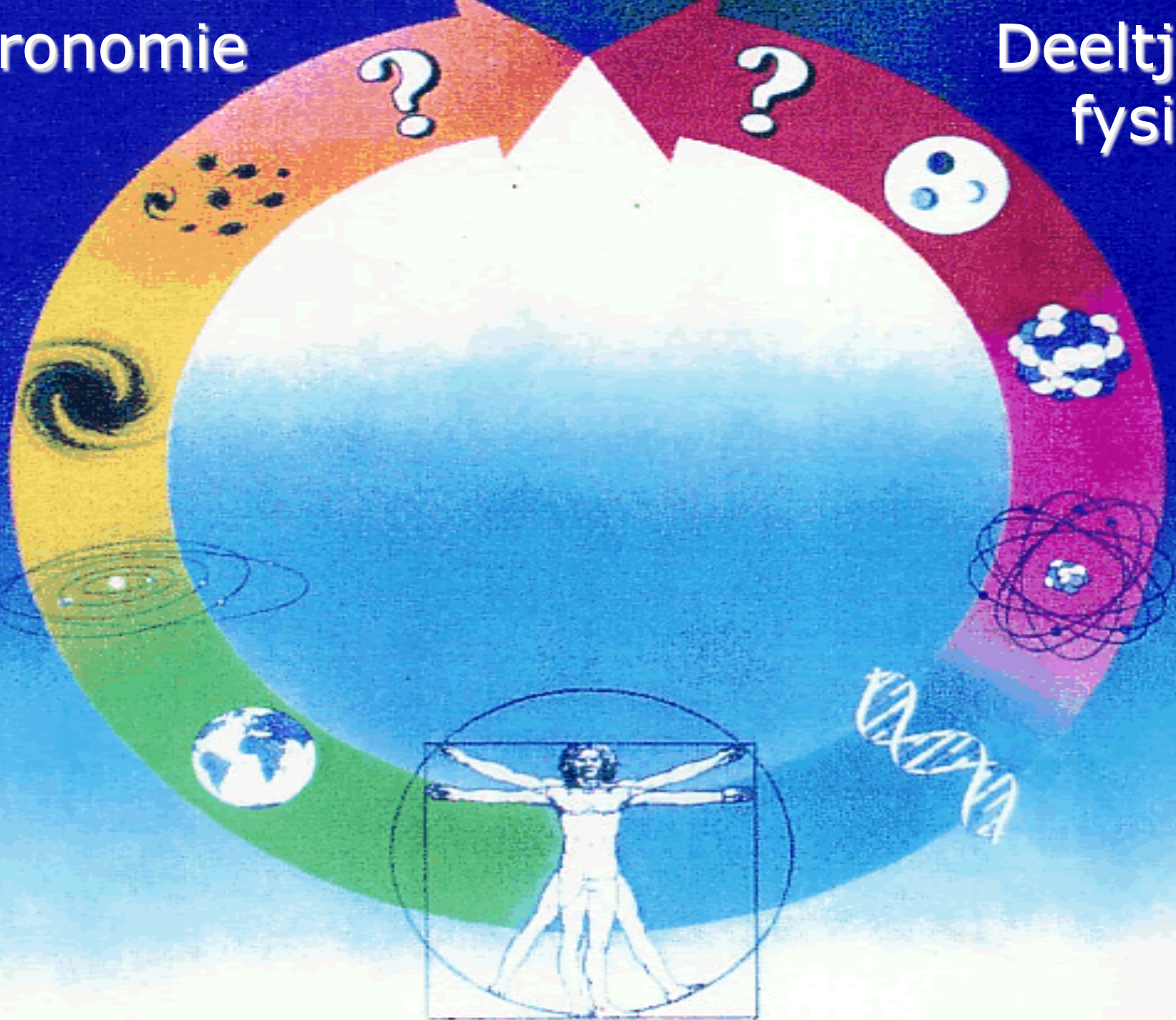
## Maar:

- Waar is alle anti-materie gebleven !?
- Er is te veel aantrekkingskracht !?



Astronomie

Deeltjes  
fysica



## Wat weten we wel

- Heelal dijt uit, oerknal
- Anti-materie eigenschappen
- Higgs veld om ons heen

## Wat weten we niet

- Wat gaf de knal?
- Waar is de anti-materie?
- Wat is de donkere materie?

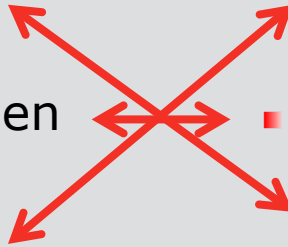


## Wat weten we wel

- Heelal dijt uit, oerknal
- Anti-materie eigenschappen
- Higgs veld om ons heen

## Wat weten we niet

- Wat gaf de knal?
- Waar is de anti-materie?
- Wat is de donkere materie?



**Kairo is synoniem met seksueel geweld**

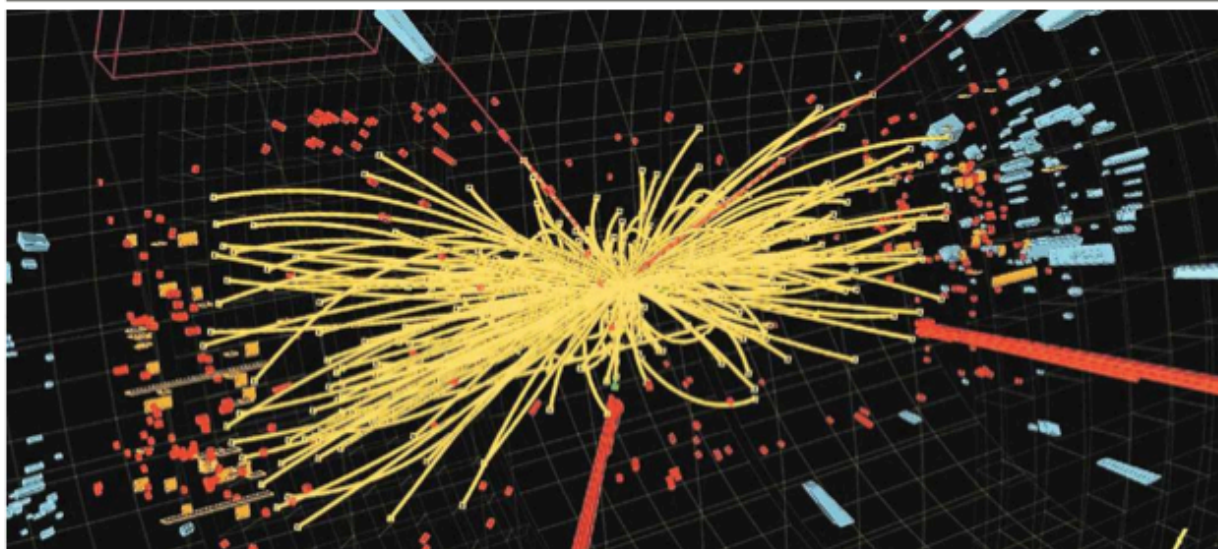
**buitenland 10**

**Pininfarina gaf Ferrari een gezicht**

**het grote verhaal 12-13**

**Afstudeerfilms: lelijke kinderen, dolende zielen**

**film 18-19**



Grafische weergave van de sporen van een proton-protonbotsing in een van de deeltjesdetectoren van CERN, het deeltjesversnellerinstituut bij Genève. Foto AFP / CERN

Historische stap in het onderzoek naar de bouwstenen waaruit heelal is opgebouwd

# Higgsdeeltje 'vrijwel zeker' ontdekt

**Door BRUNO VAN WAYENBURG**  
AMSTERDAM. Na twee uur spanningsrekkende praatjes komt CERN-directeur Rolf Heuer vanmorgen met de mededeling: „We hebben een ontdekking, de waarneming van een nieuw deeltje, met de eigenschappen van een Higgs-boson“.

Het Higgsdeeltje dus, het enige deeltje in het Standaardmodel van de natuurkunde waarvan het bestaan wel voorspeld was maar nog niet aangetoond.

Het is het deeltje dat andere deeltjes hun massa geeft.

Het is groot nieuws: de mededeling leidt tot een ontlasting in de zaal bij het CERN, het deeltjesversnellerinstituut bij Genève. Het publiek van vooral natuurkundigen klappt en joelt.

Aanvankelijk aarzelend applausdissen ook de onderzoekers en pers die samengekomen zijn in Nikhef, het instituut voor deeltjesfysica in Amsterdam.

Het lijkt er nu toch echt op dat ze, zij het virtueel, aanwezig zijn bij een historische aankondiging. Uit presentaties van Joe Incandela van de CMS-deeltjesdetector en van Gianotti van de ATLAS-detector, blijkt dat er maar een hele kleine kans op toeval is: minder dan 1 op de 3,5 miljoen. „Er is absoluut een nieuw deeltje ontdekt, dat valt niet meer te ontkennen“, zegt ook Stan Bentvelsen, projectleider van de Nederlandse inbreng in het ATLAS-experiment, waarbij 45 onderzoekers betrokken zijn.

Om het Higgsdeeltje aan te tonen,

moet je nieuwe deeltjes maken. Dat is peperduur, maar oenvoudig. Je laat in een deeltjesversneller deeltjes met vrijwel de lichtsnelheid met elkaar botsen. Hoe harder de botsing, hoe meer energie er wordt omgezet in nieuwe deeltjes. Zoals het Higgs-boson, dat in de jaren zestig voorspeld werd door zes theoretisch natuurkundigen. Het werd naar een van hen genoemd, Peter Higgs.

De Higgs is nodig om te verklaren hoe het komt dat alles massa heeft: doordat deeltjes worden afgeremd door het zogeheten Higgs-veld. Zo alomtegenwoordig als het uitgesmeerde Higgs is, zo ongrijpbaar is het als deeltje.

Zo gauw het ontstaat uit de enorme energie die vrijkomt bij een botsing, zo snel valt het ook weer uit el-

kaar in verschillende elementaire deeltjes. Alleen die brokstukken zijn, meteen na een botsing, goed te zien in de detectoren.

Maar veel vaker ontstaat er bij een botsing geen Higgs, maar een mix van al bekende deeltjes. Onderscheid maken tussen 'Higgs- en niet-Higgs-botsingen' is een kwestie van netjes meten en turven en zware statistiek.

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

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

uitschieter zou gaan is dan 1 op de 3,5 miljoen. Incandela eindigt met een tergende 4,9, net geen 5. Maar Gianotti komt na eendelige details uit op 5,0.

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

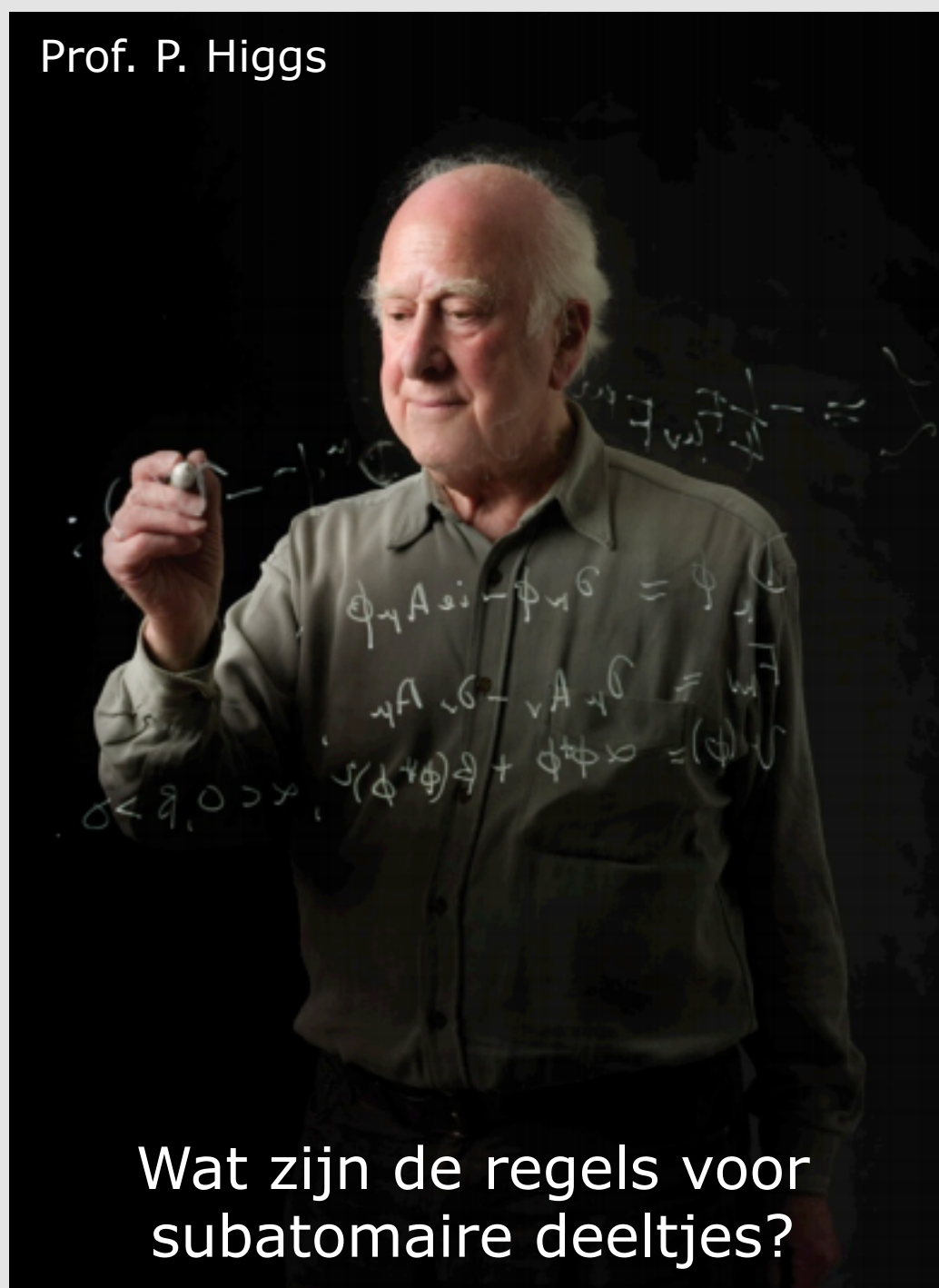
Maar mocht het geen Higgs-boson zijn, of zelfs maar een licht afwijkend Higgs-boson, dan zou dat nog groter nieuws zijn. Want meer nog dan naar het Higgs-boson, snakken natuurkundigen naar 'nieuwe natuurkunde': metingen of deeltjes die eindelijk eens een keer niet overeenkomen met het Standaardmodel, is dus het devies. „Dit is pas het begin“, concludeert ook Gianotti.

# Hoe de Higgs het *verschil* maakt

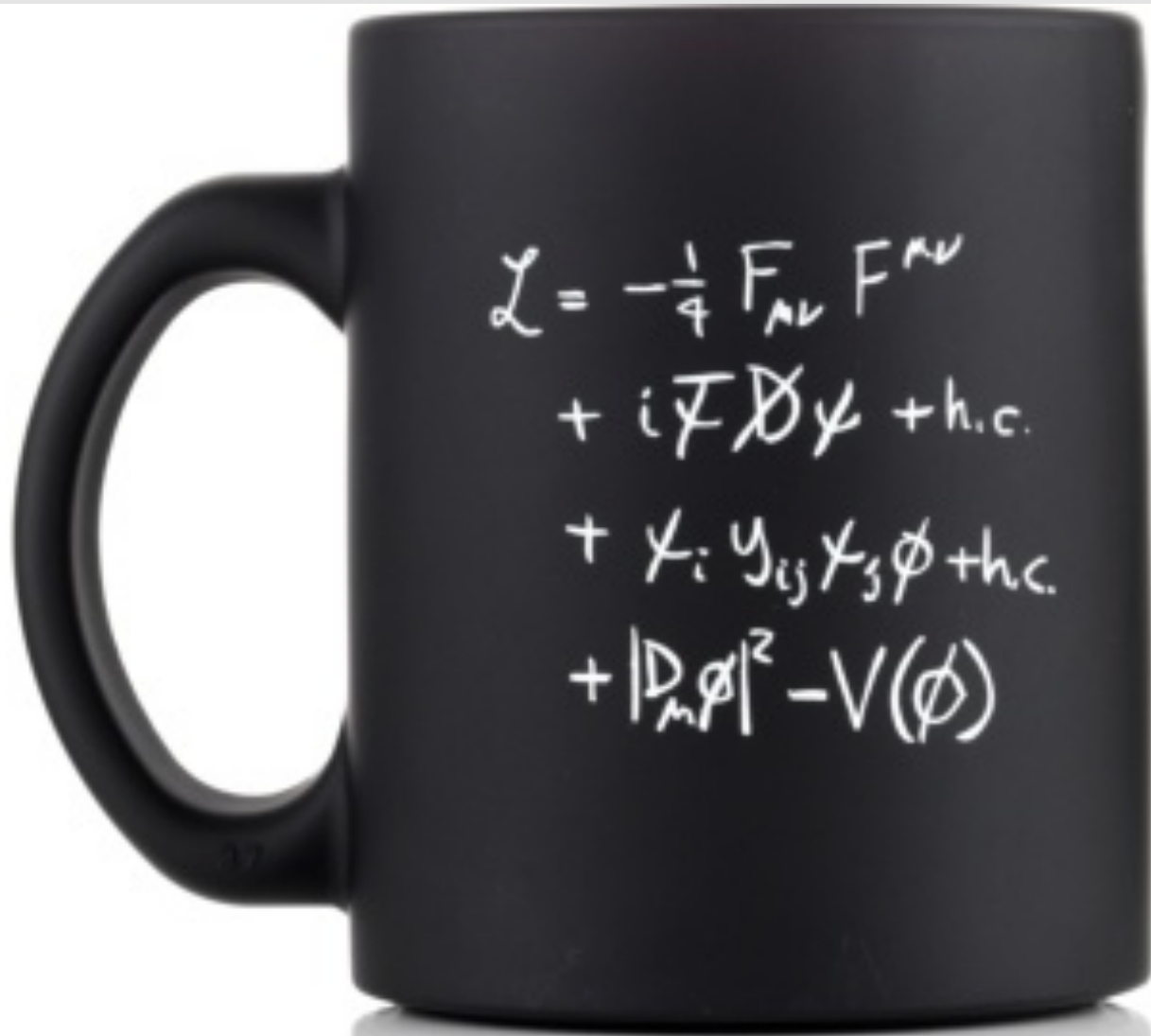
- Waarom is het Higgs deeltje zo bijzonder?
- De verdwenen anti-materie
- Inflatie



Prof. P. Higgs



Wat zijn de regels voor  
subatomaire deeltjes?



➤ Beschrijving van gedrag van deeltjes

## Fotonen $F_{\mu\nu}$

(Maxwell vergelijkingen!  
E-veld, B-veld,  
electro-magnetische golven, ...)

## Deeltjes $\psi$

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

## Interacties $D$

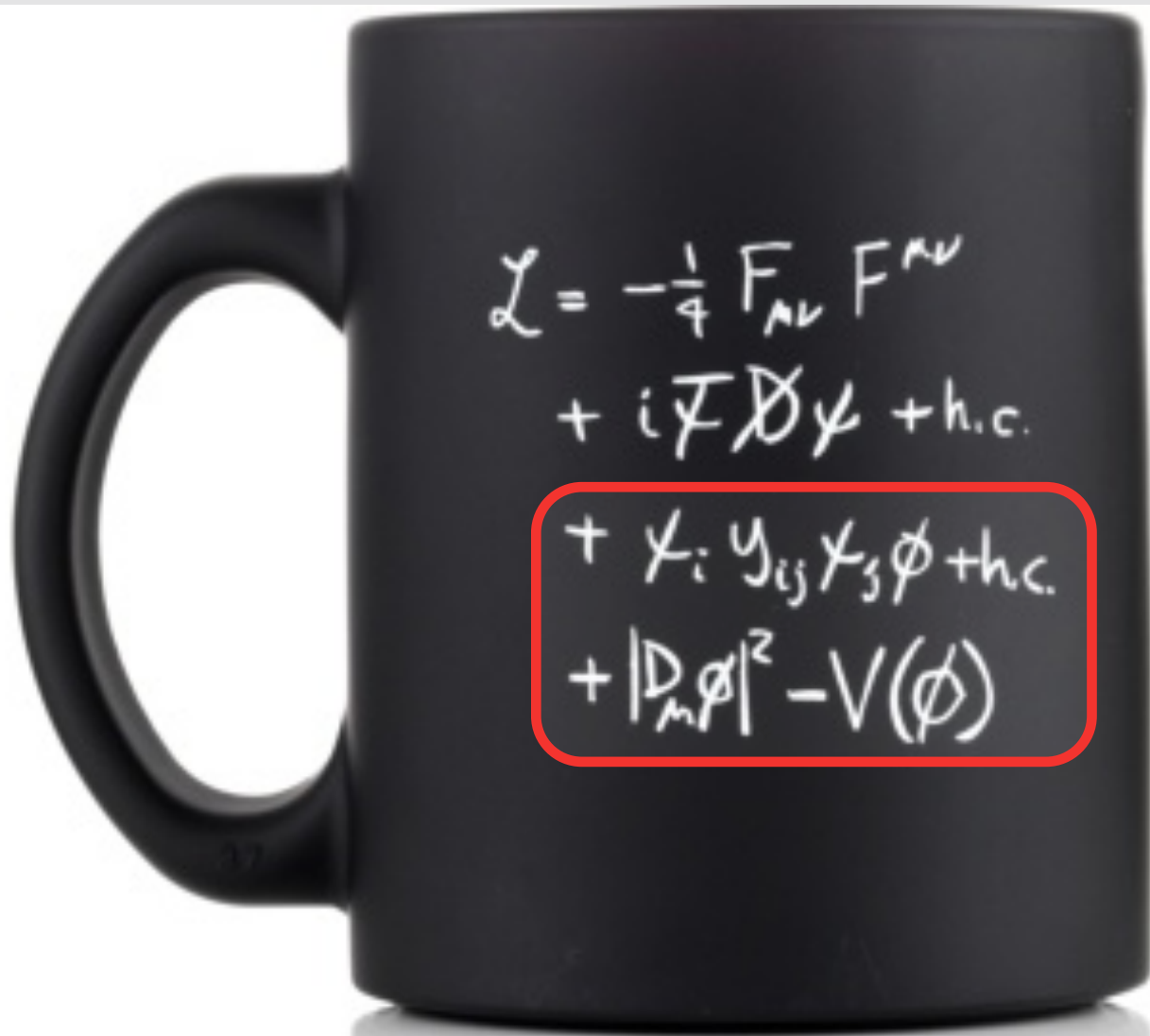
(hoe de deeltjes elkaar  
"voelen")

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

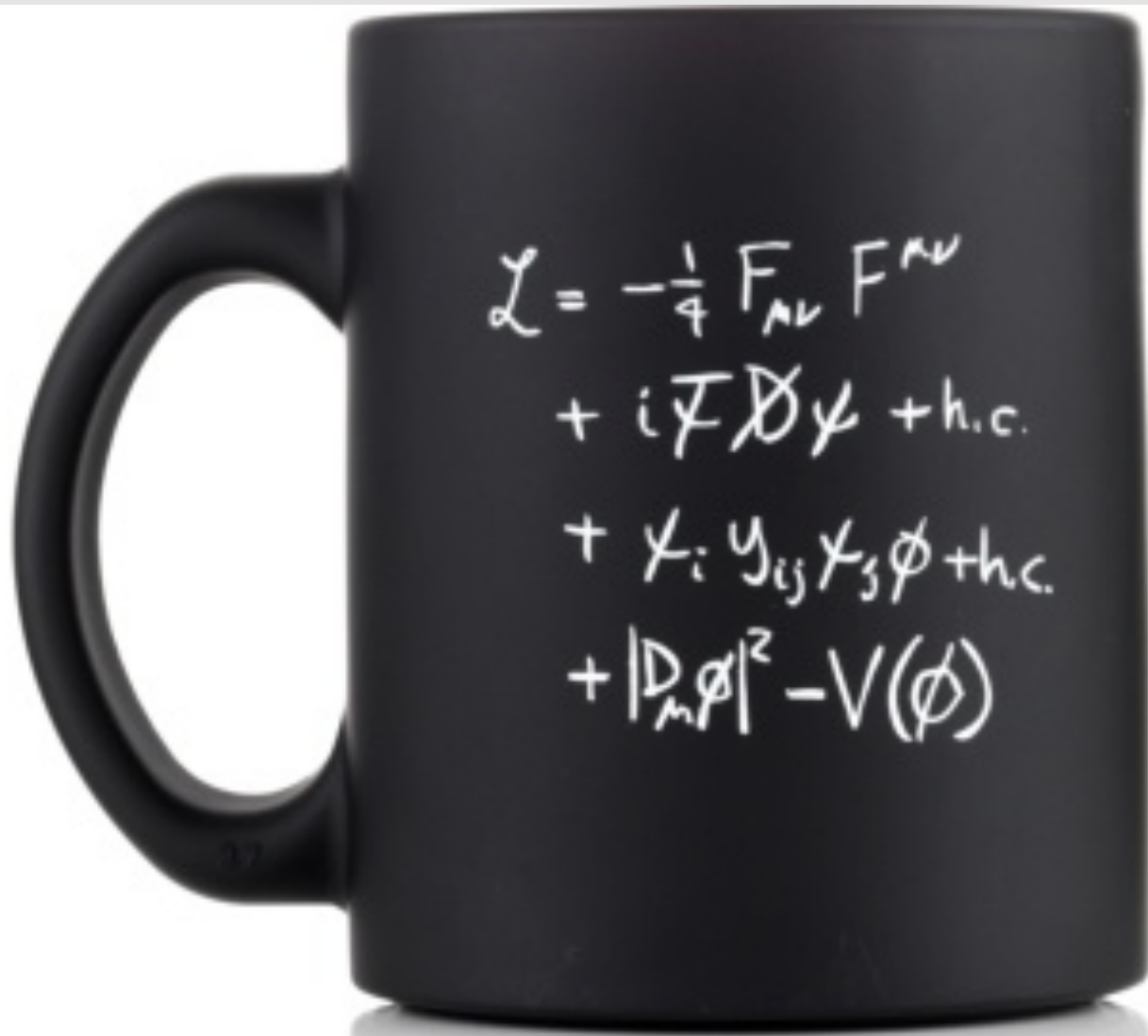
$\psi\psi\phi$  **Massa**  
(voor de "gewone" deeltjes)

$\phi$  **Higgs**





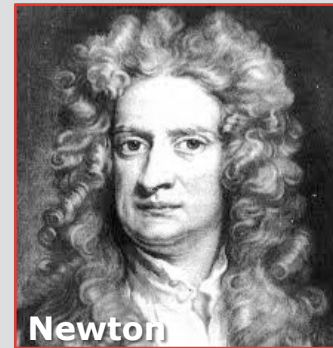
➤ Helft van de mok gaat over Higgs!



Te koop in de CERN winkel

## Massa?

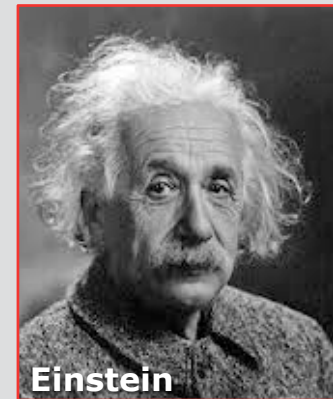
$$F = m \times a$$



Newton

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

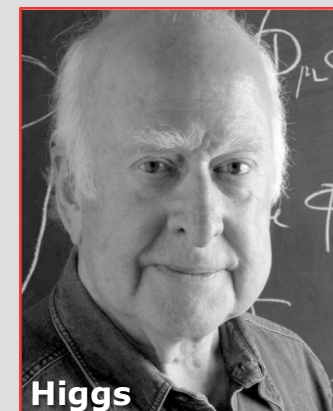
$$E = m \times c^2$$



Einstein

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

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



Higgs

- Massa is wrijving met Higgs veld!



*“Wij zwemmen in een oceaan van Higgs deeltjes,  
... alsof we vissen zijn en nu hebben vastgesteld dat  
er water om ons heen is.”*

Prof. Robbert Dijkgraaf



# Hoe de Higgs het *verschil* maakt

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

Waar is de anti-materie gebleven?



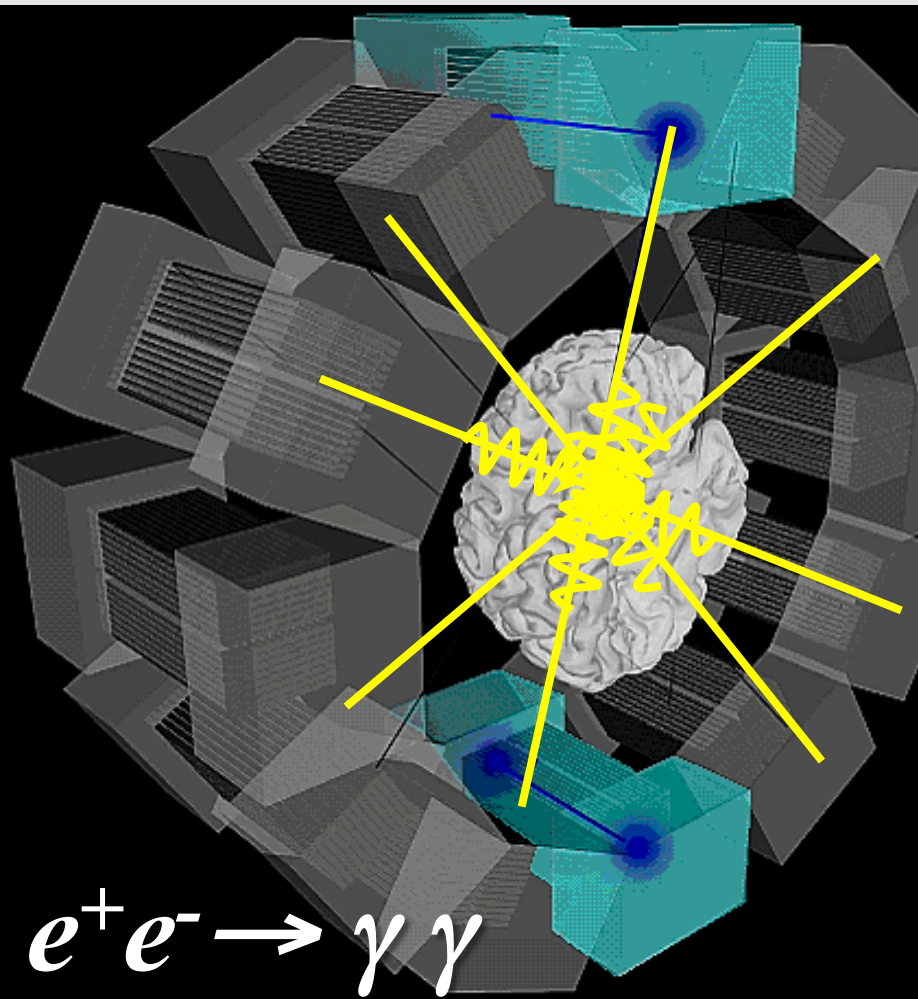


# Anti-materie?

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

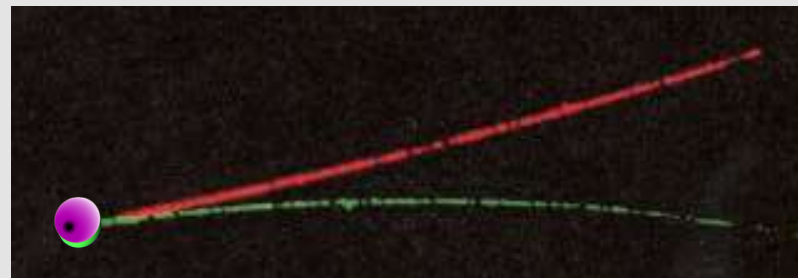
# Anti-materie?

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



# Anti-materie?

- Anti-materie annihileert in contact met materie
- Dagelijkse routine in ziekenhuizen
- In het lab maken we *altijd* gelijke hoeveelheden:





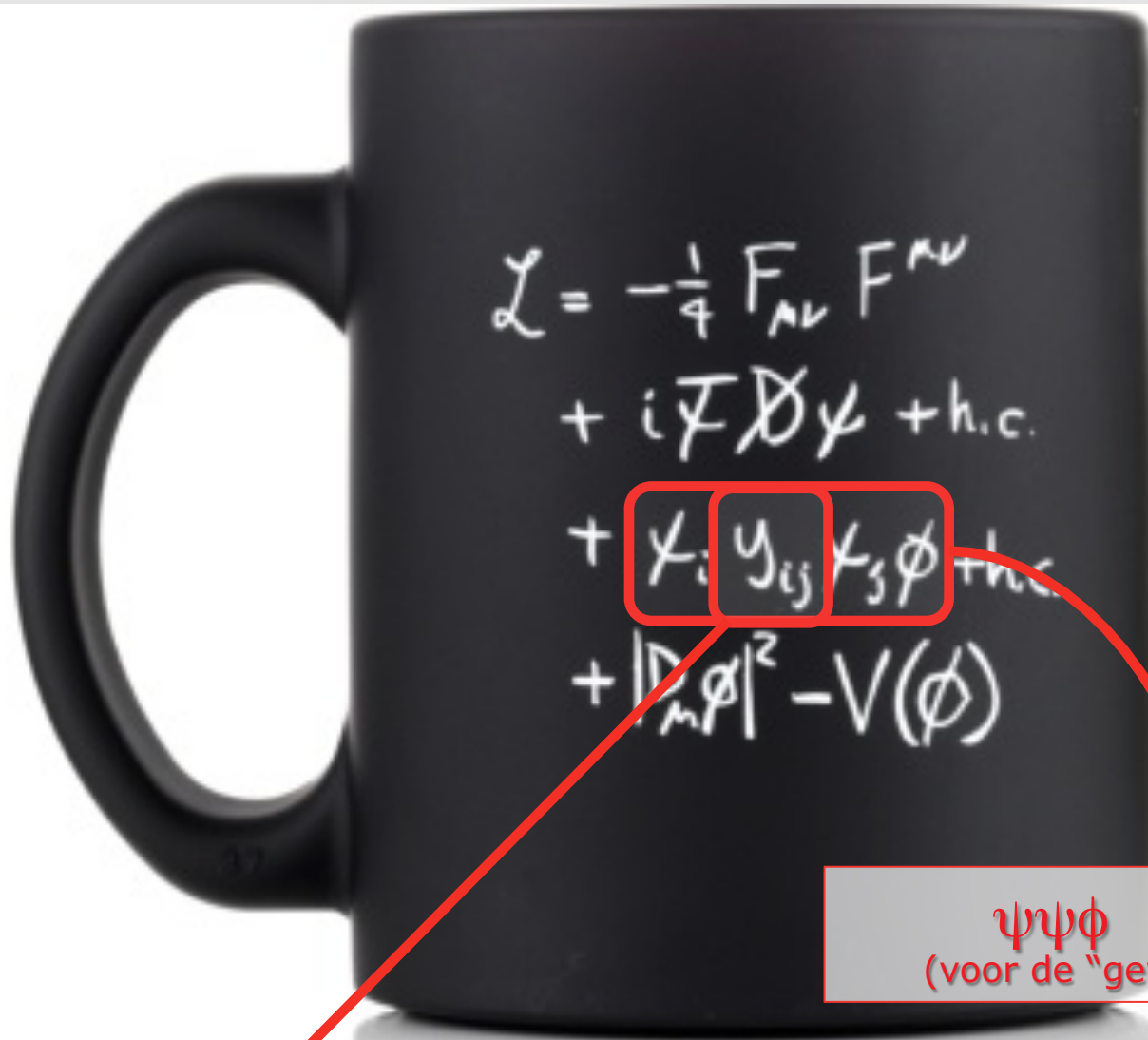
Waar is de anti-materie gebleven?



## Hoe de Higgs het *verschil* maakt



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



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

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

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



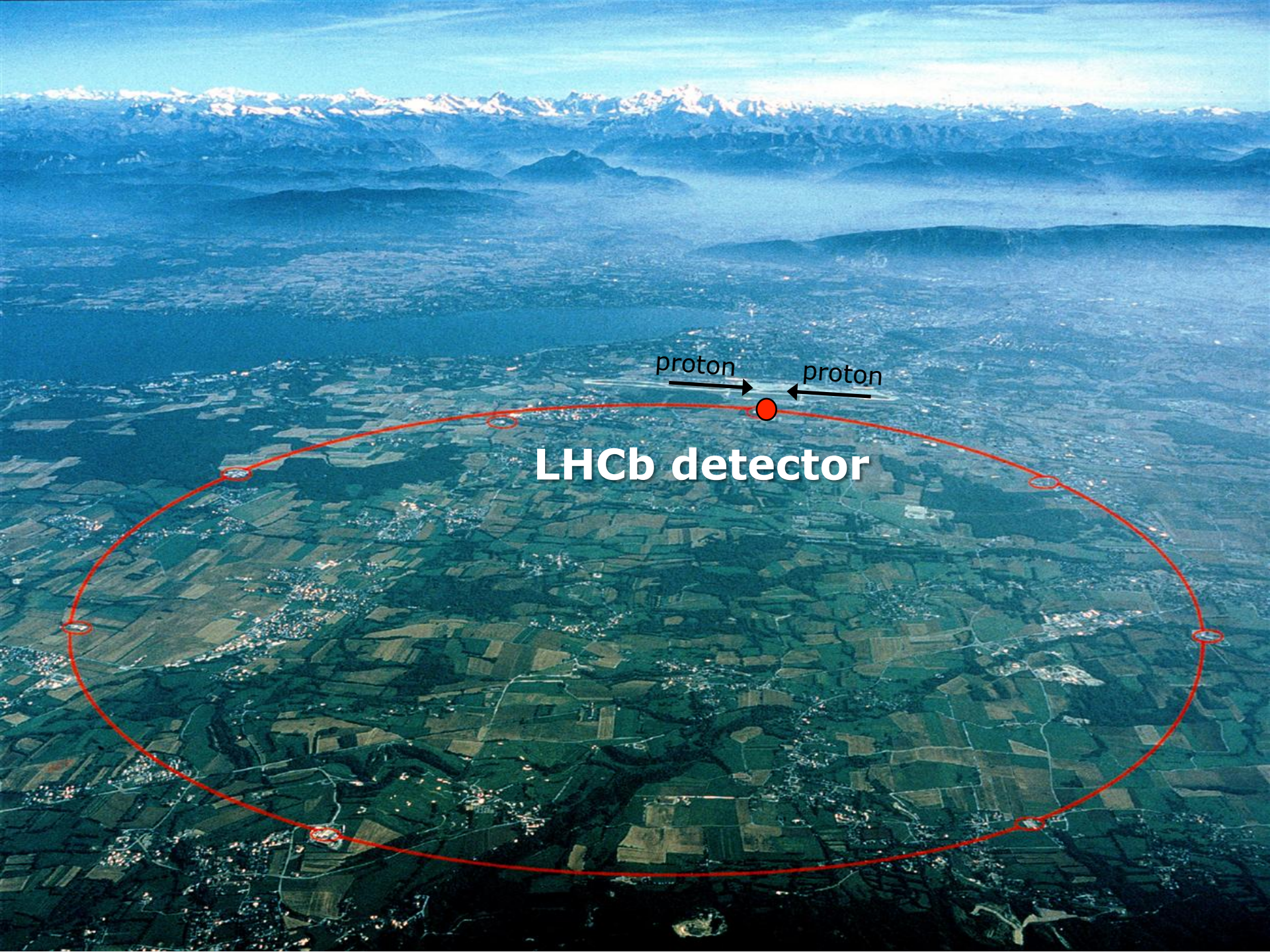
## Hoe de Higgs het *verschil* maakt



- Hoe onderzoeken wij dit verschil?







proton

proton

LHCb detector



## Hoe de Higgs het *verschil* maakt

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



## Higgs

- Het Begin?
- Het Einde?

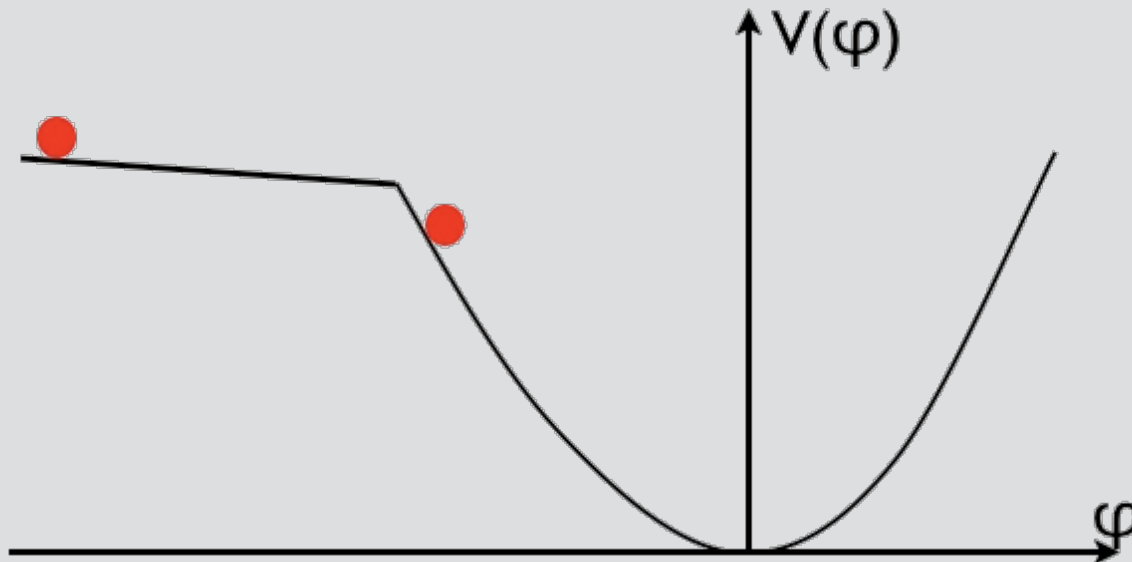


# Higgs: Het Begin?

## Higgs: Het Begin?

Een van Higgs' eigenschappen komt overeen met een ander veld...

Het *inflaton* dat de het heelal opblies tussen  $10^{-33}$  en  $10^{-32}$  seconde na de Big Bang

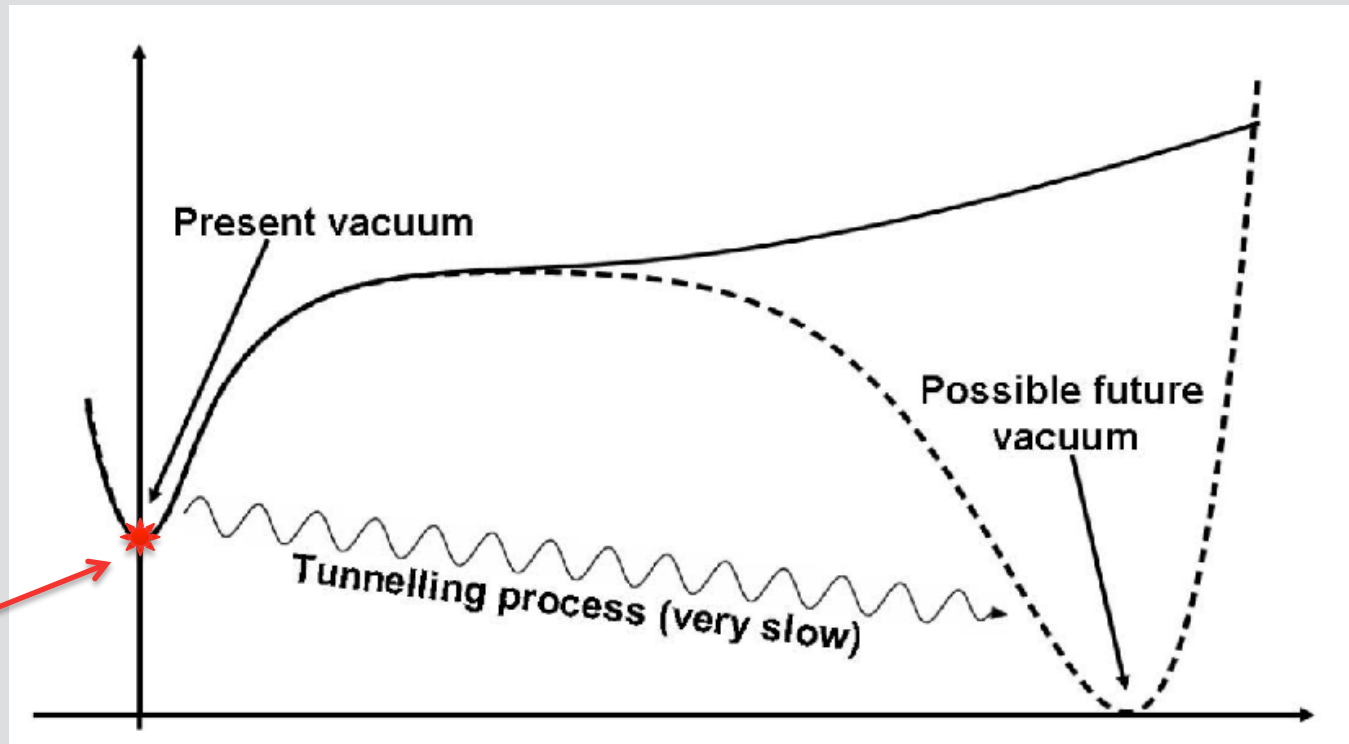




# Higgs: Het Einde?

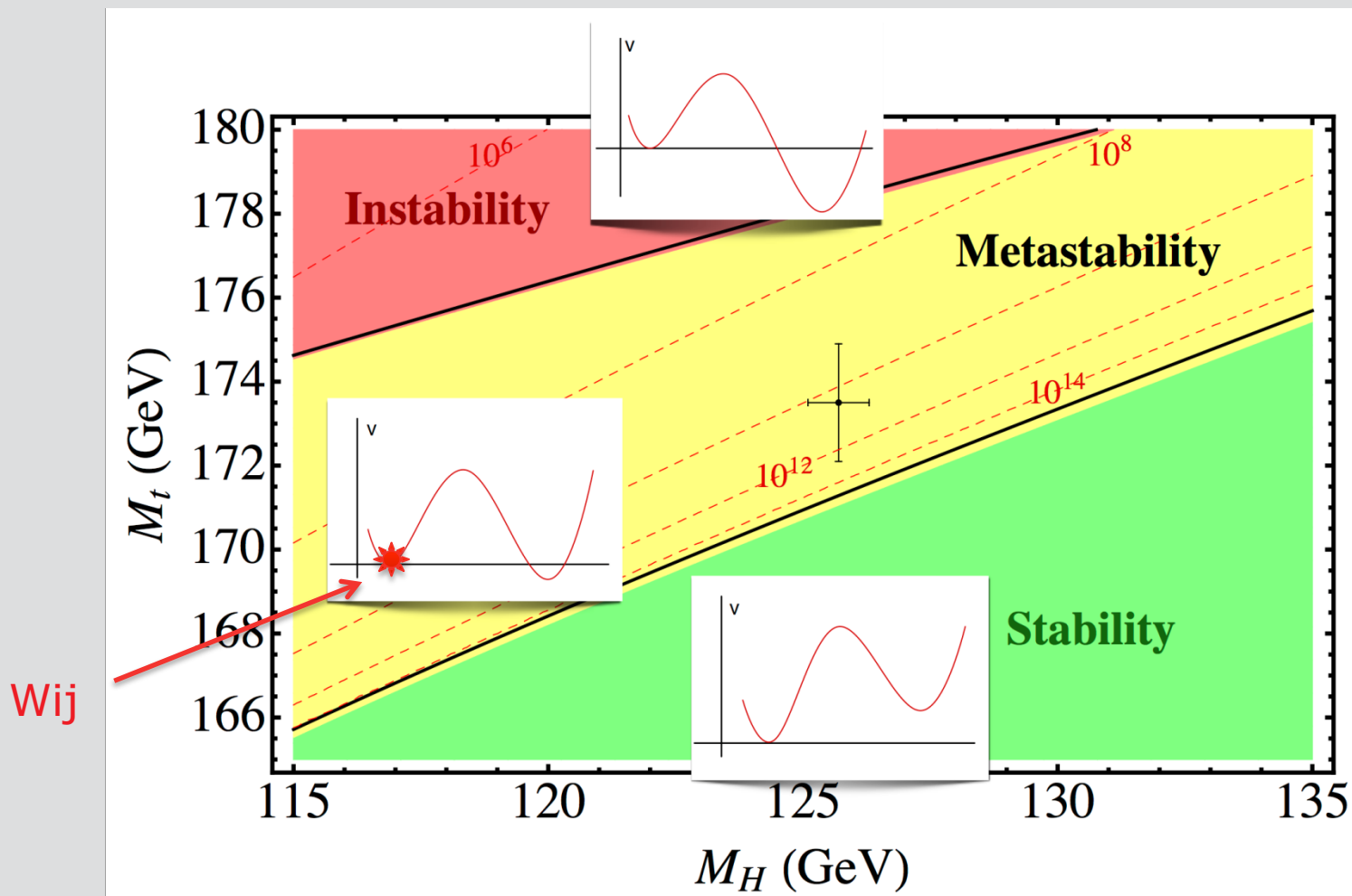


# Higgs: Het Einde?



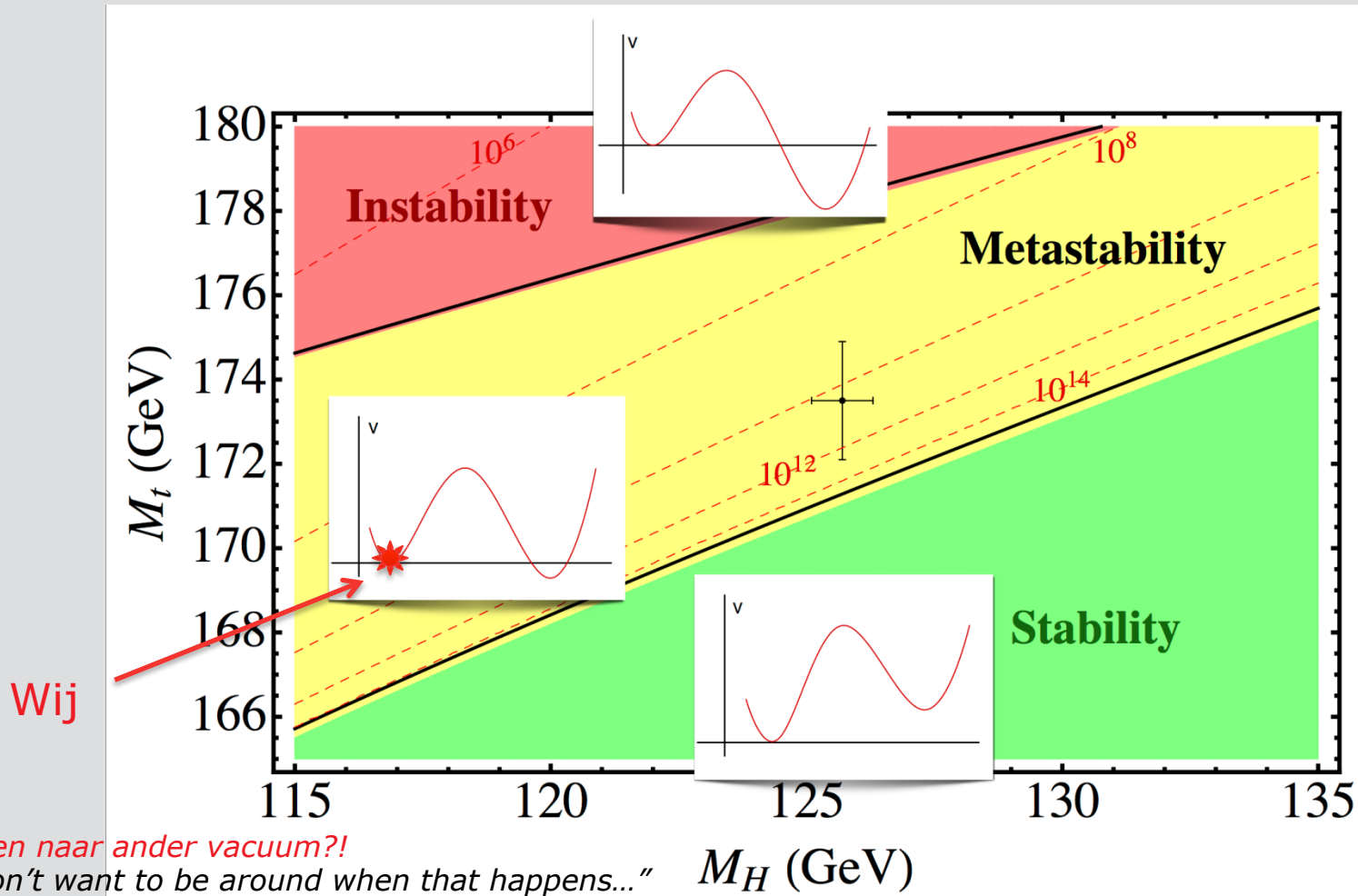
Wij

# Higgs: Het Einde?



*Vacuum decay is the ultimate ecological catastrophe; in the new vacuum there are new constants of nature; after vacuum decay, not only is life as we know it impossible, so is chemistry as we know it.*  
 Sidney Coleman

# Higgs: Het Einde?



*Tunnelen naar ander vacuum?!*

*"You don't want to be around when that happens..."*

$M_H$  (GeV)

## Hoe de Higgs het *verschil* maakt

- Higgs onmisbaar om alle deeltjes te begrijpen
- Higgs is gelinkt aan de verdwenen anti-materie
- Higgs lijkt op inflaton: Begin
- Higgs massa suggereert instabiel heelal: Einde?

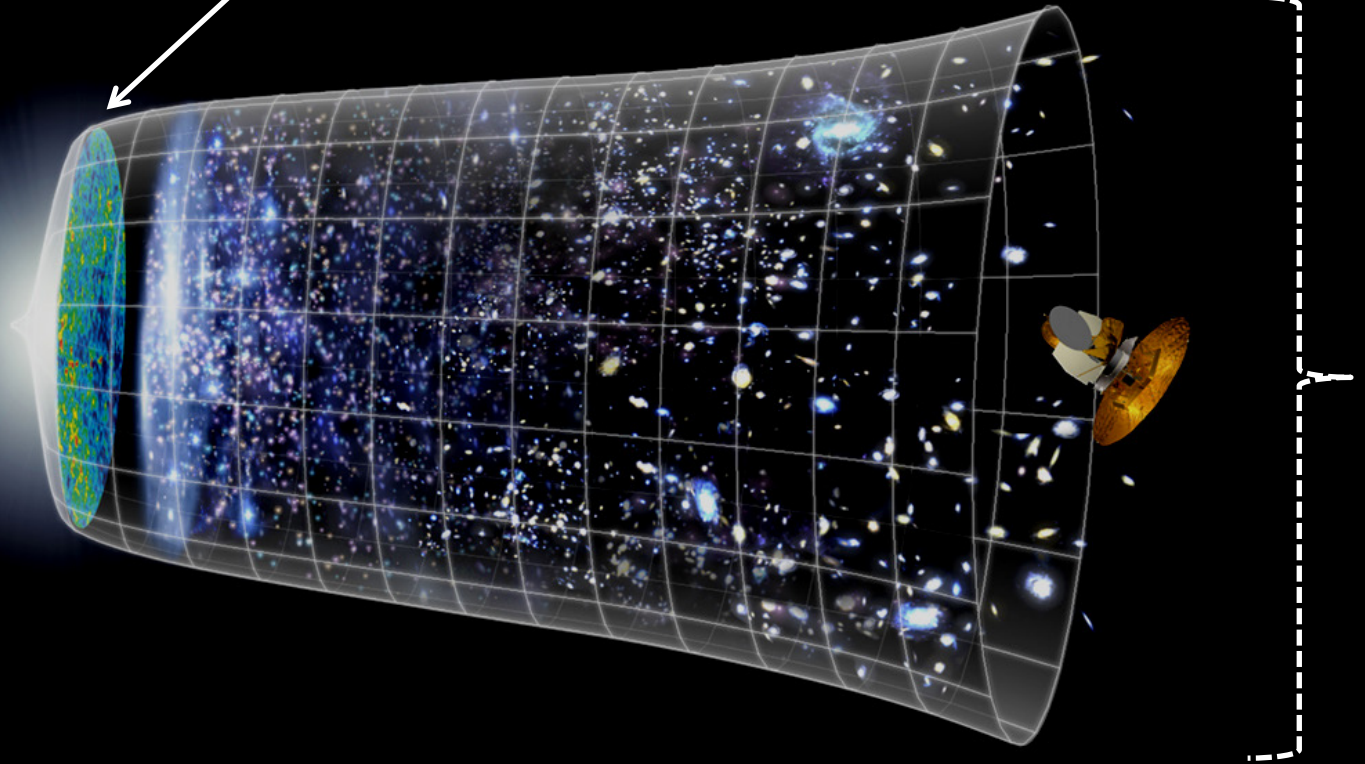


# Higgs?

Inflatie?

Anti-materie  
verschil?

Instabiel vacuum?



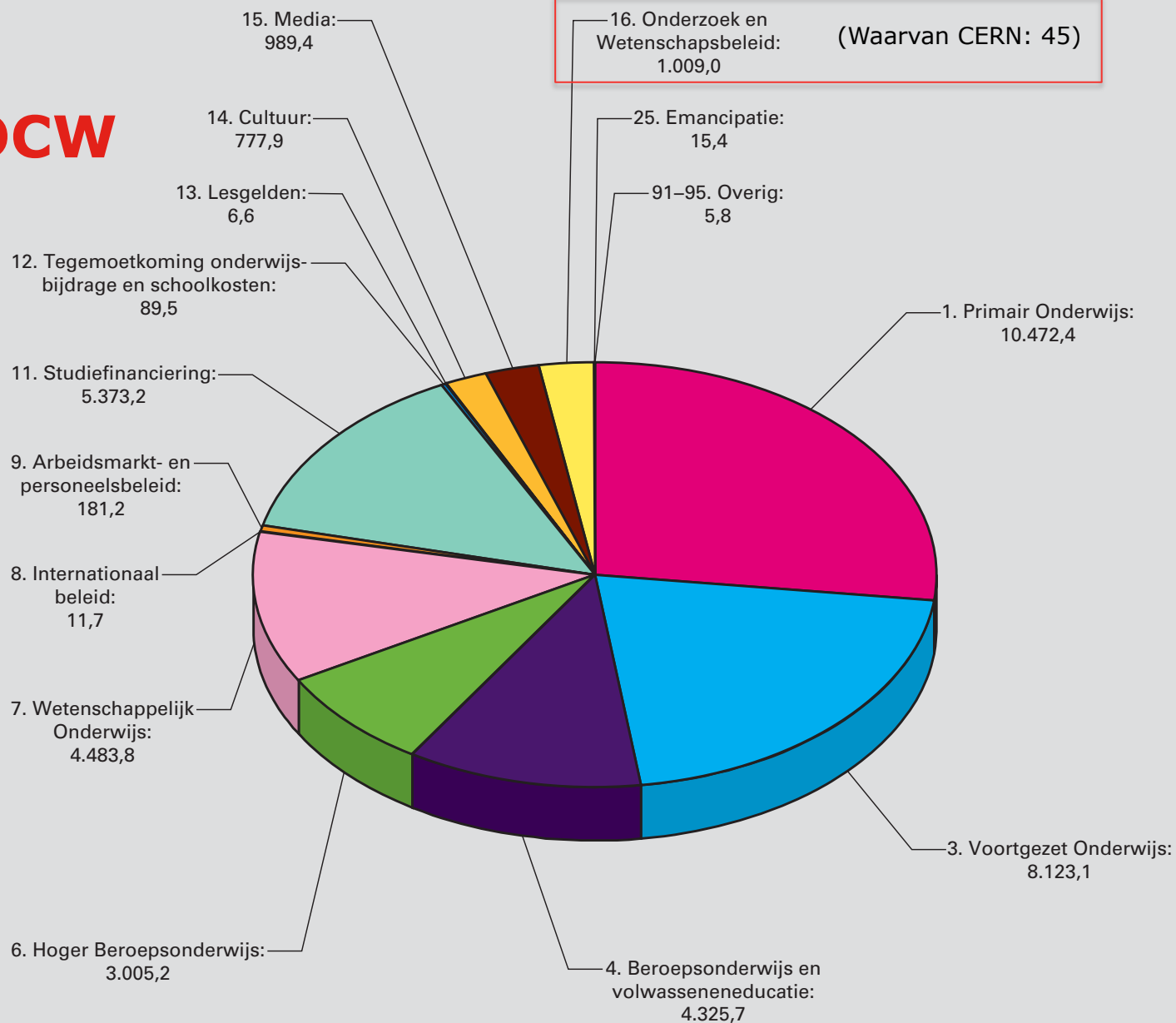
tijd





**Bedankt voor uw aandacht!**

# Begroting OCW



## Wat is duur...?

- Kosten LHC versneller: € 4 miljard
- Kosten Int Space Station: € 200 miljard
  
- Kosten voor NL: € 70 miljoen per jaar
  - per wetenschapper: € 500,000 per jaar
  
- En de kennis is voor eeuwig!

<b>Bekostiging</b>	<b>923.215</b>
• Hoofdbekostiging	669.606
<i>NWO-wet en WHW</i>	
– NWO	489.560
– KNAW	89.435
– KB	90.611
• Aanvullende bekostiging	253.609
– NWO Talentenontwikkeling	161.409
– NWO STW	8.000
– NWO Grootschalige researchinfrastructuur	55.295
– Nationaal RG onderwijsonderzoek	23.258
– Poolonderzoek	3.147
– Caribisch Nederland	2.500
<b>Bijdrage aan (inter-)nationale organisaties</b>	<b>93.379</b>
– EMBC	832
– EMBL	5.016
– ESA	31.061
– CERN	44.937
– ESO	9.044
– NTU/INL	2.489
<b>Bekostiging</b>	<b>1.012.881</b>
– Publieke Omroep (omroepinstellingen)	923.624
Landelijke publieke omroep	765.473
Regionale omroep	158.151
– Beheertaken landelijke publieke omroep	64.844
Stichting Omroep Muziek	15.952
Uitzenden en uitzendgereedmaken	25.577
Nederlands Instituut voor Beeld en Geluid (NIBG)	23.315
– Dotaties, bijdragen publieke omroep	32.866
Stimuleringsfonds Nederlandse Culturele Mediaproducties (Mediafonds)	19.613