



Nieuwe Meer  
26 okt 2014

**NIKHOF**

# Alles en Niks

VAN DE OERKNAL TOT HIGGS

Niels Tuning

# Alles en niks!

- De oerknal
- Higgs en anti-materie
- De oerknal



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!



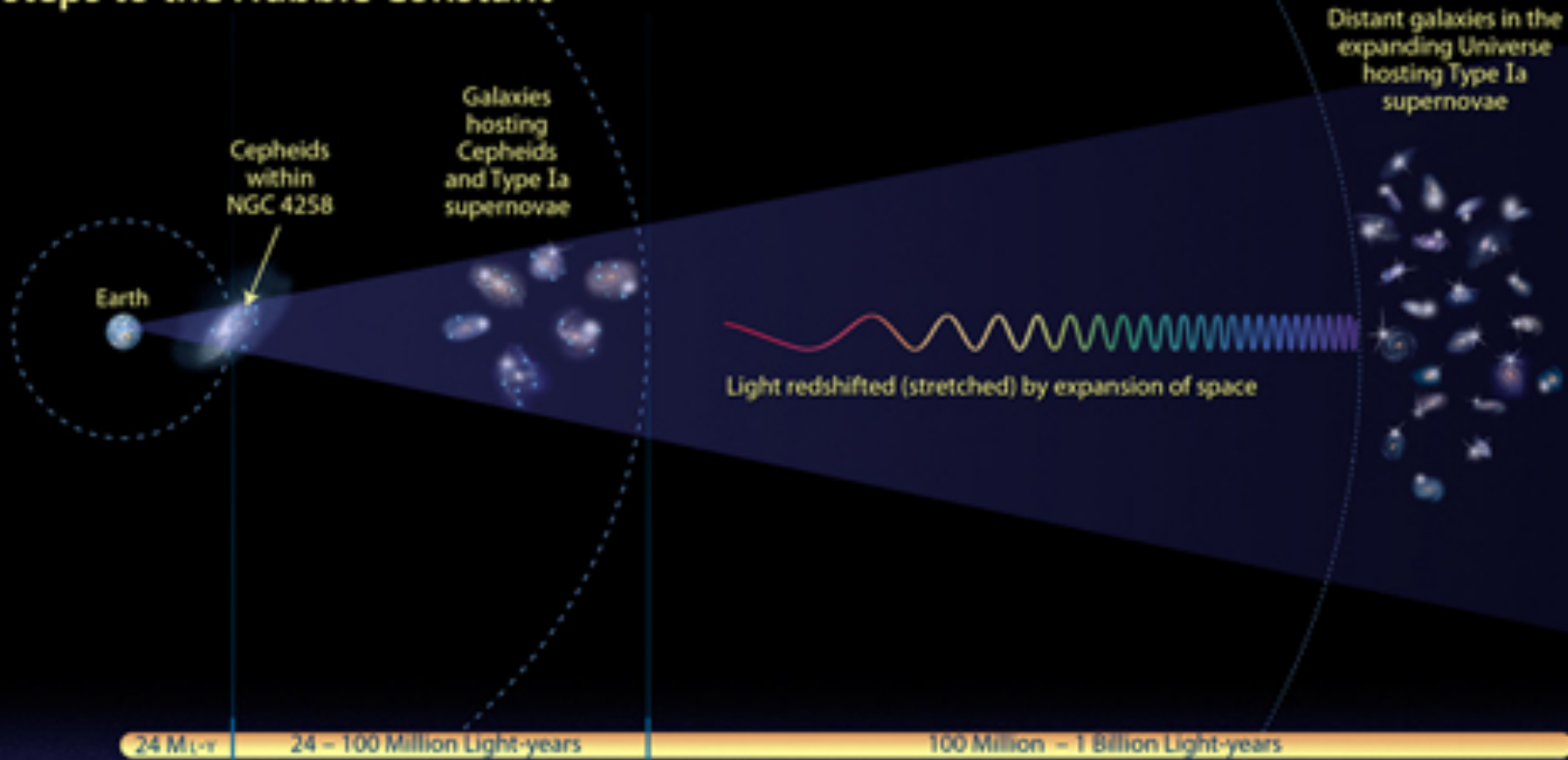
## Big Bang

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling



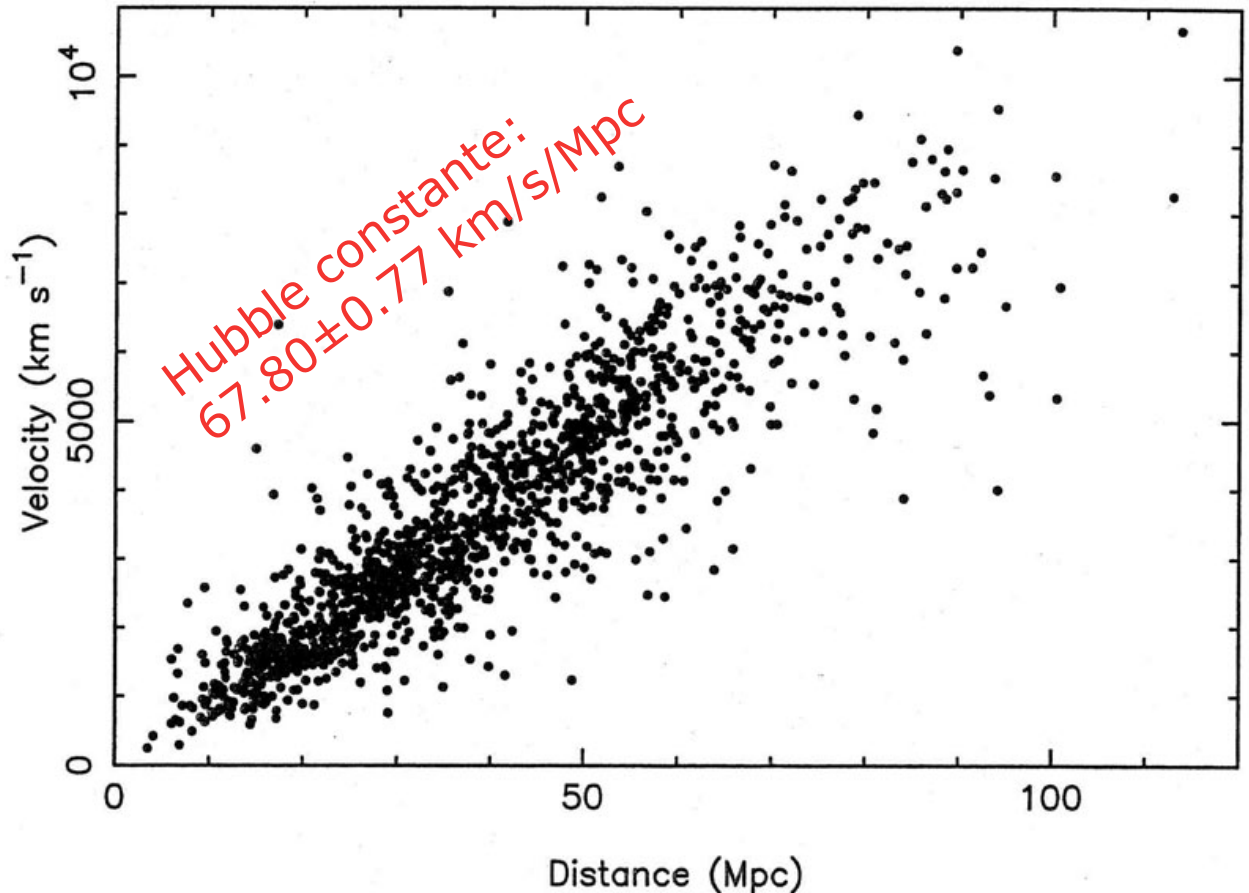
## Uitdijing

### Three steps to the Hubble Constant





# Uitdijng



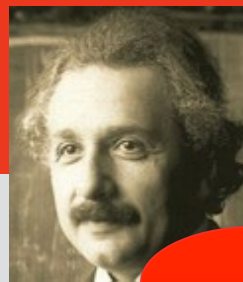
## Nobel prize 2011

The Nobel Prize in Physics 2011 was awarded to Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt and Adam G. Riess "for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae".

**Figure 2.5** A plot of velocity versus estimated distance for a set of 1355 galaxies. A straight-line relation implies Hubble's law. The considerable scatter is due to observational uncertainties and random galaxy motions, but the best-fit line accurately gives Hubble's law. [The  $x$ -axis scale assumes a particular value of  $H_0$ .]



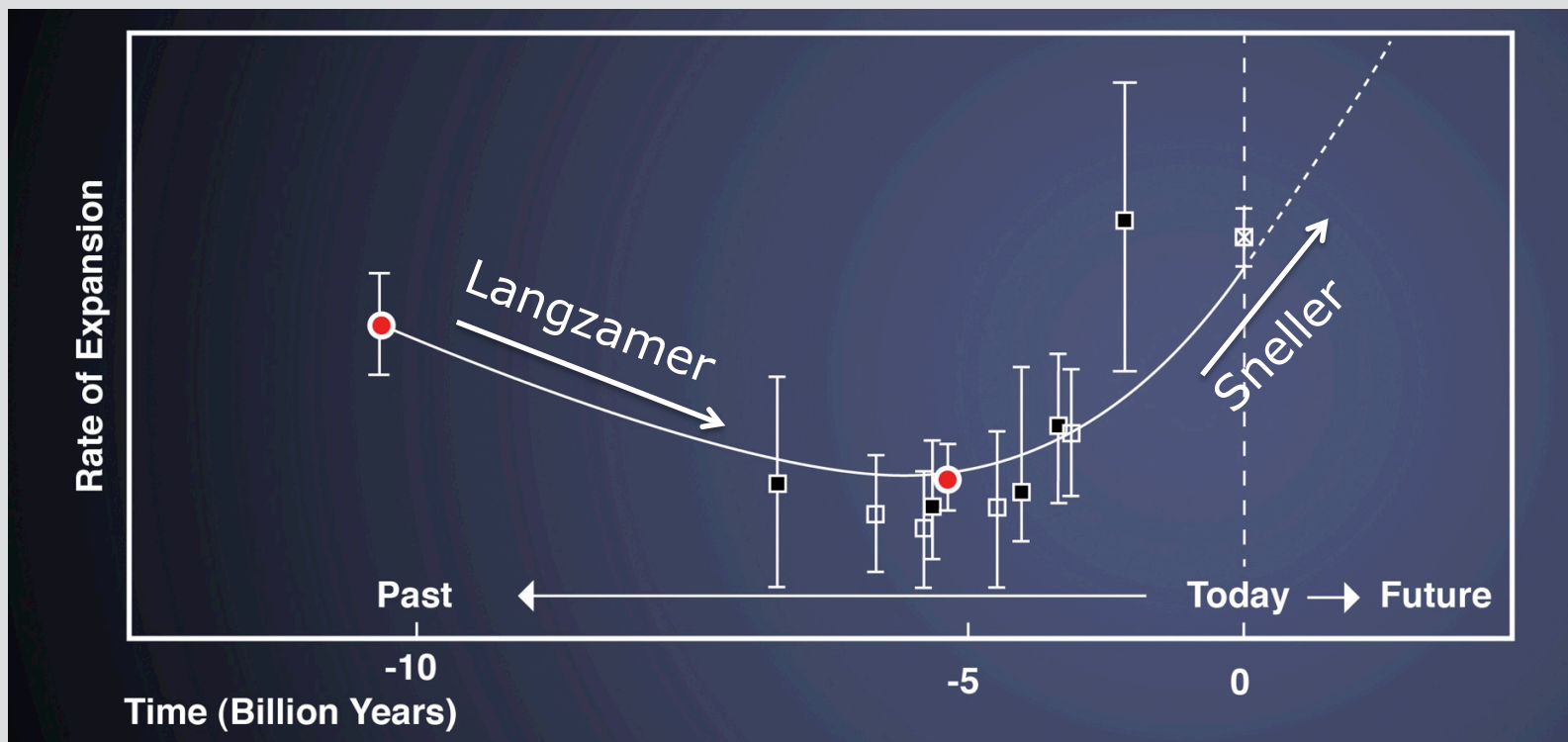




„größte Eselei  
meines Lebens“ ?!

## Uitdijing

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

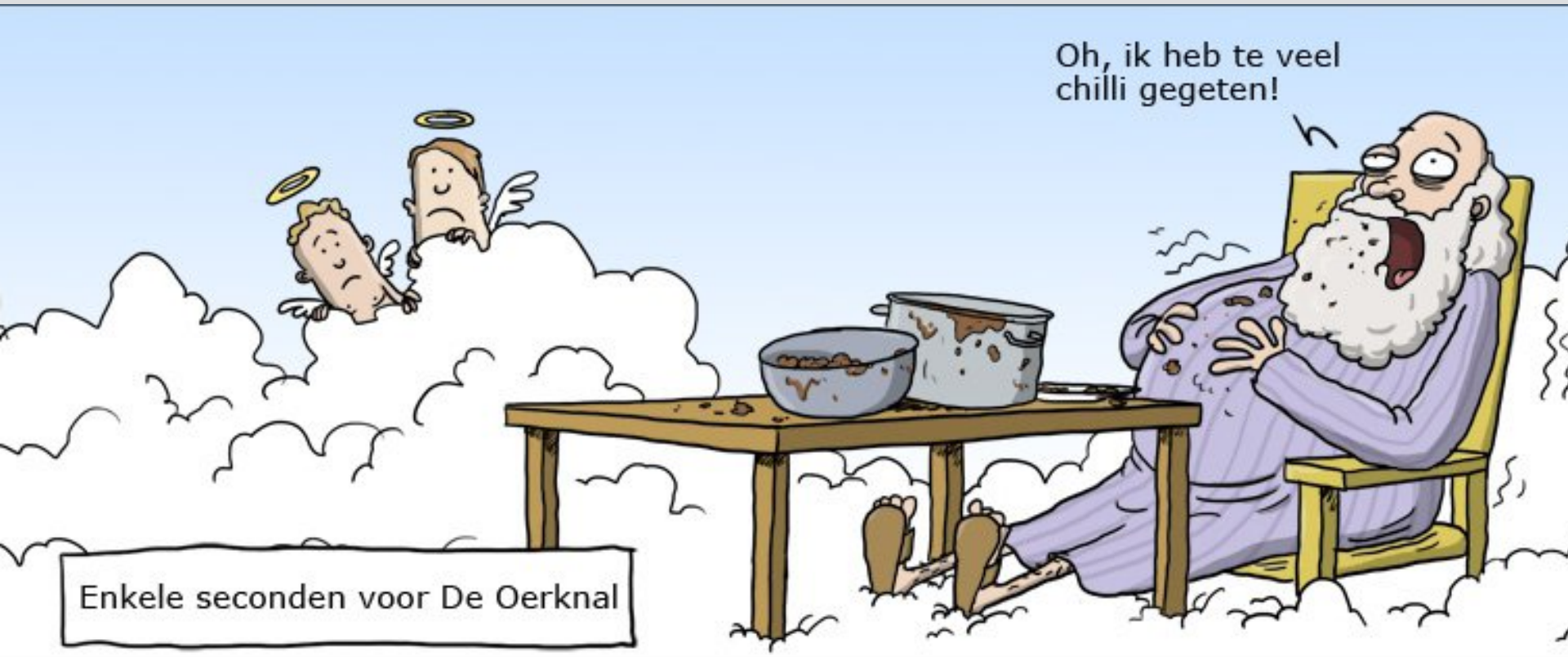




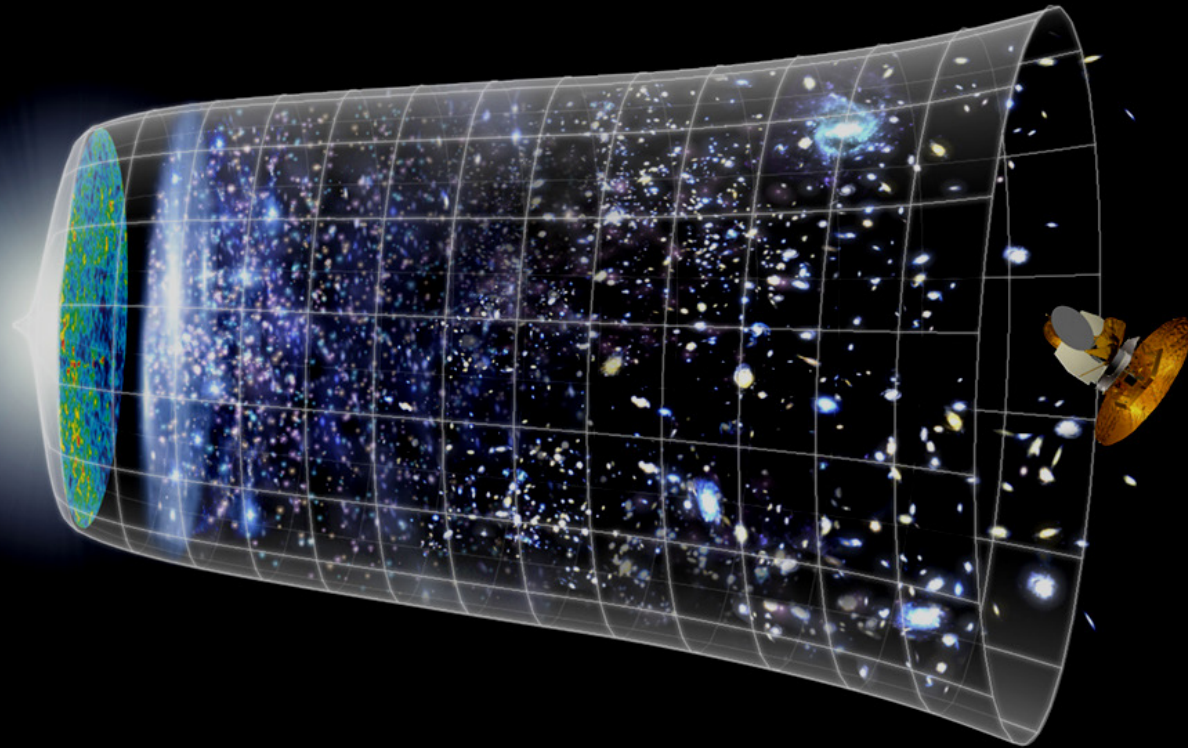
**Wat als we “de film terugdraaien” ... ?!**



## Wat was er voor de oerknal?



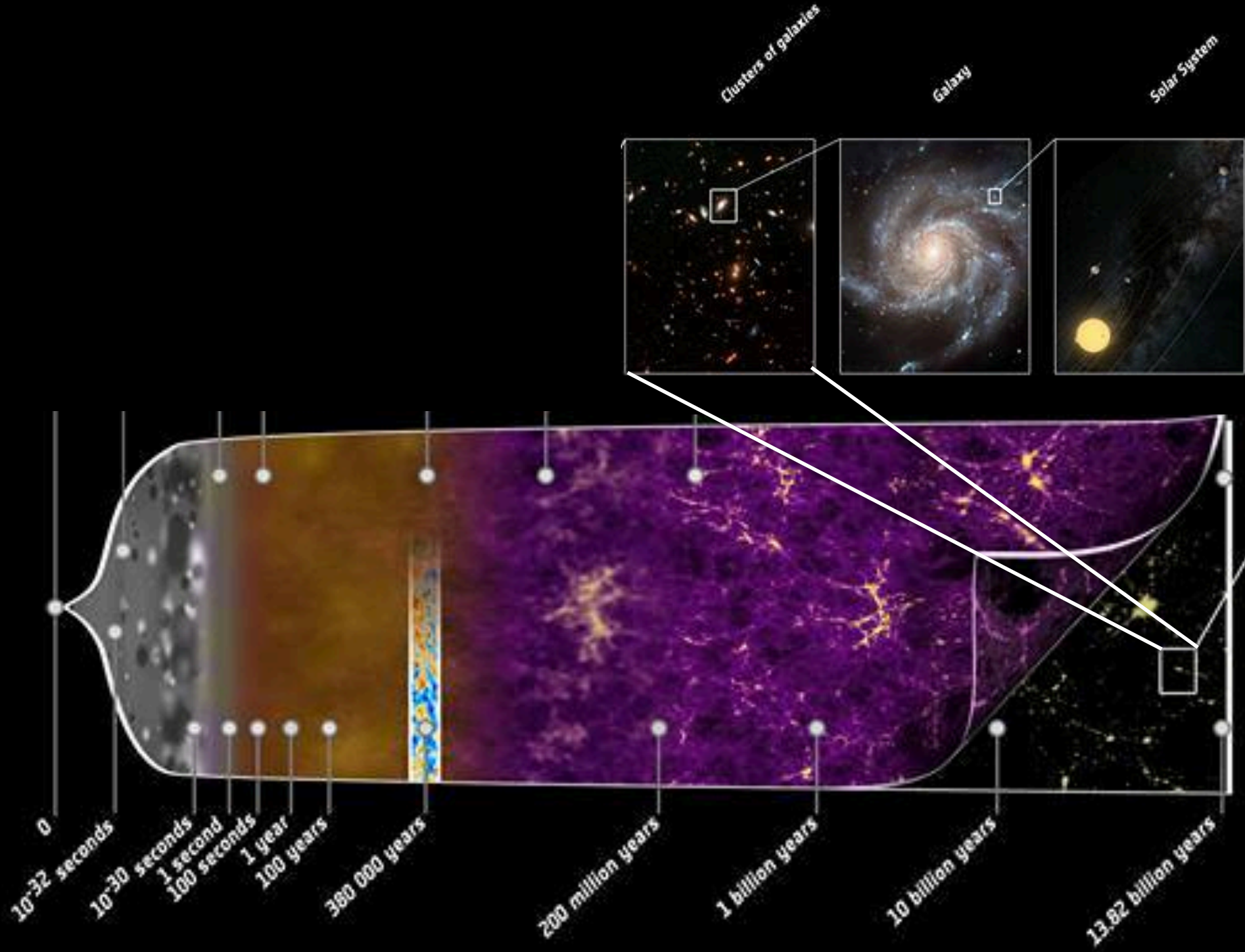
# Hoe ging de Knal ?!

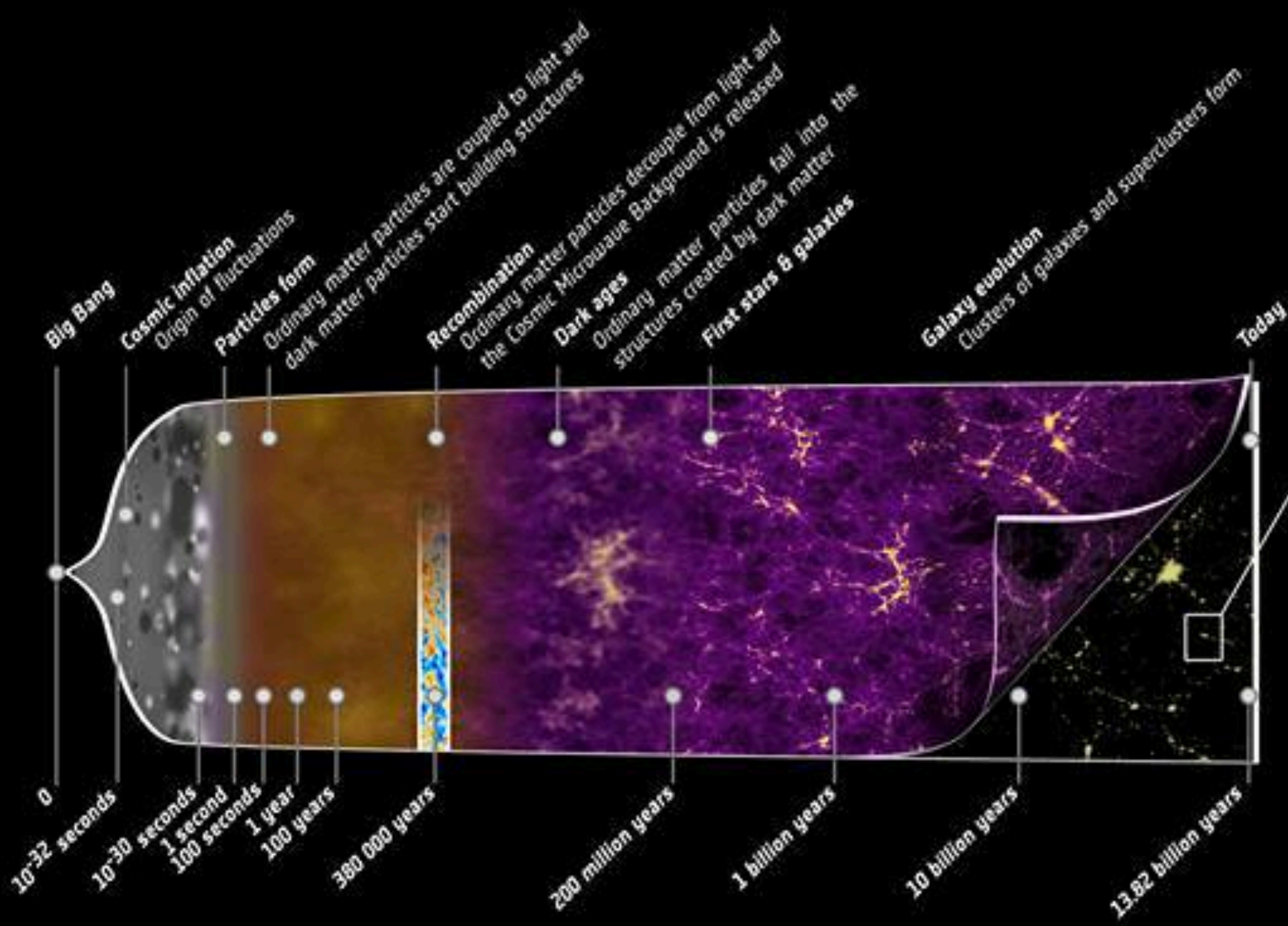


tijd

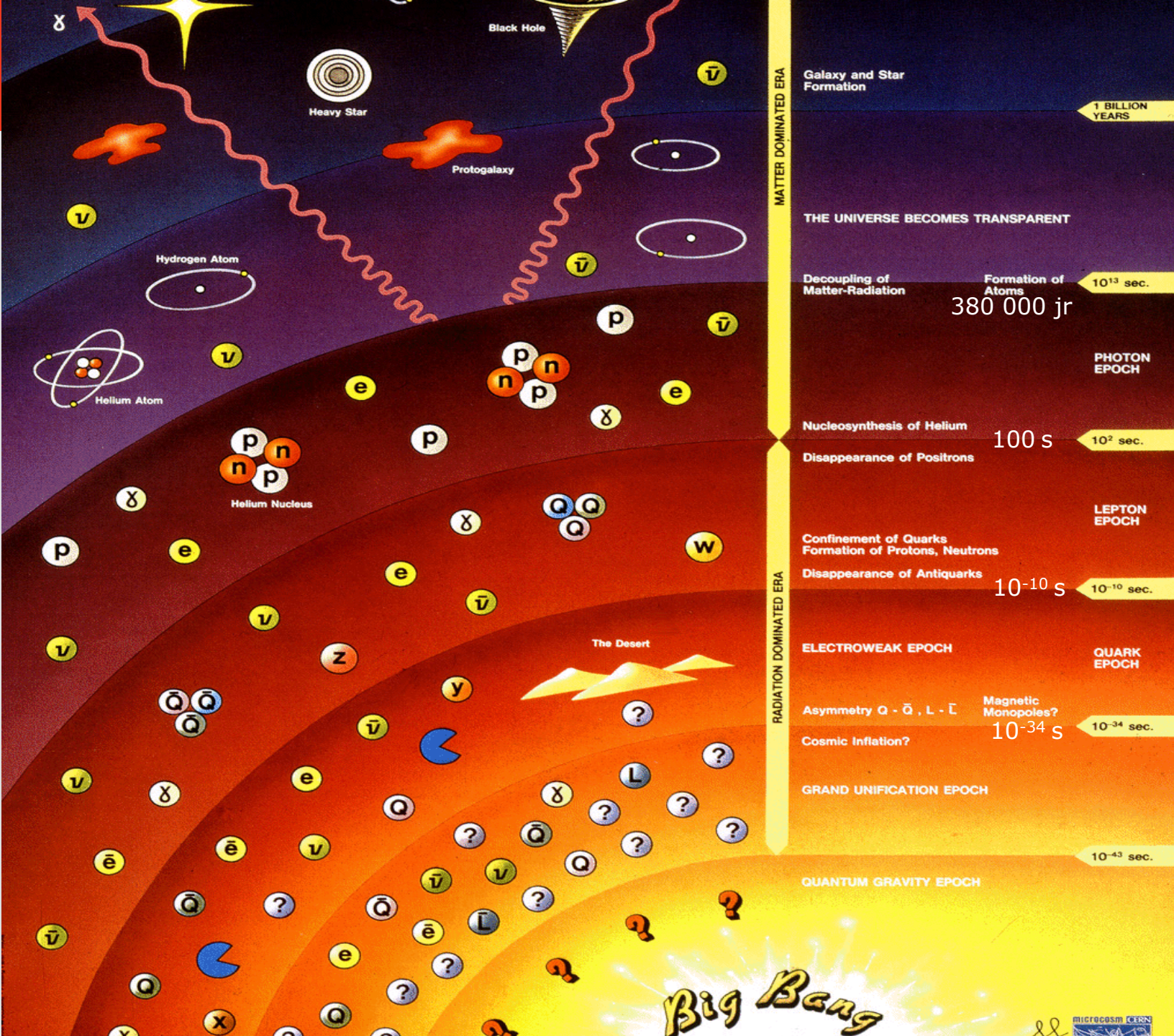












kosmische  
achtergrond  
straling

Helium

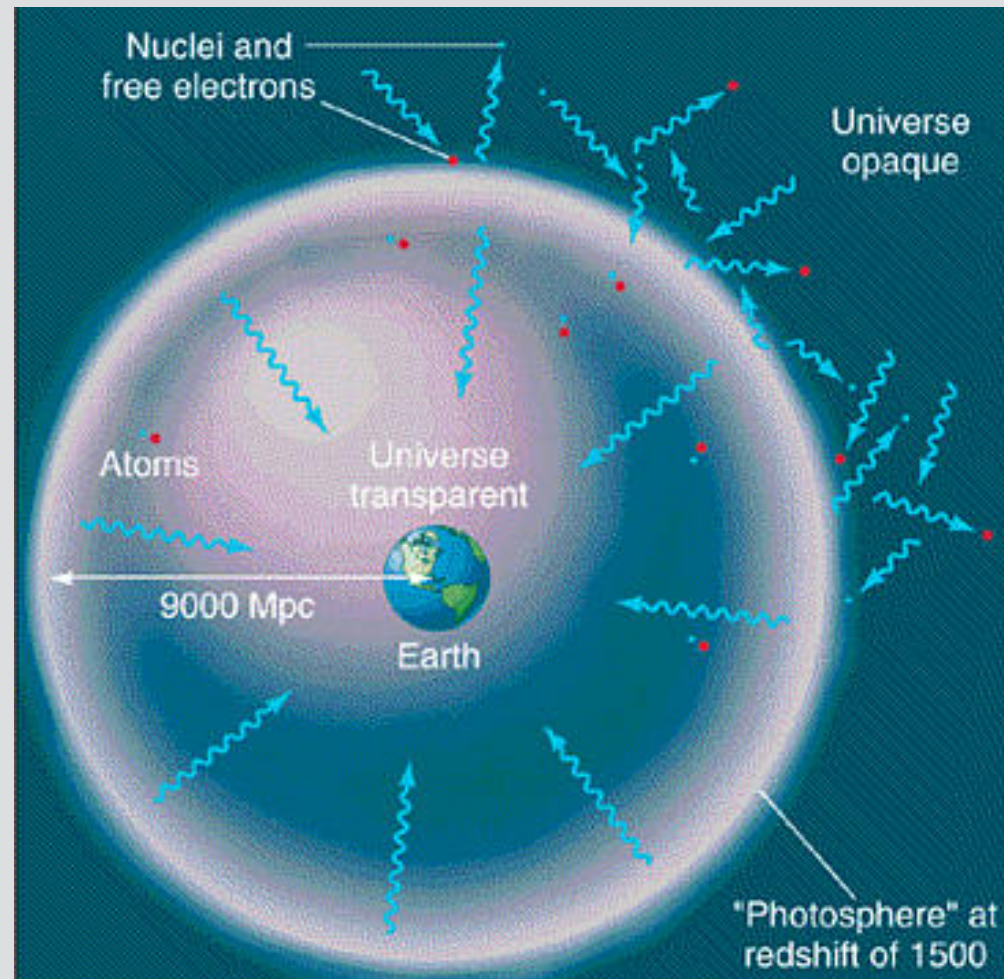
anti-materie

inflatie



# “Kosmische Achtergrond Straling”

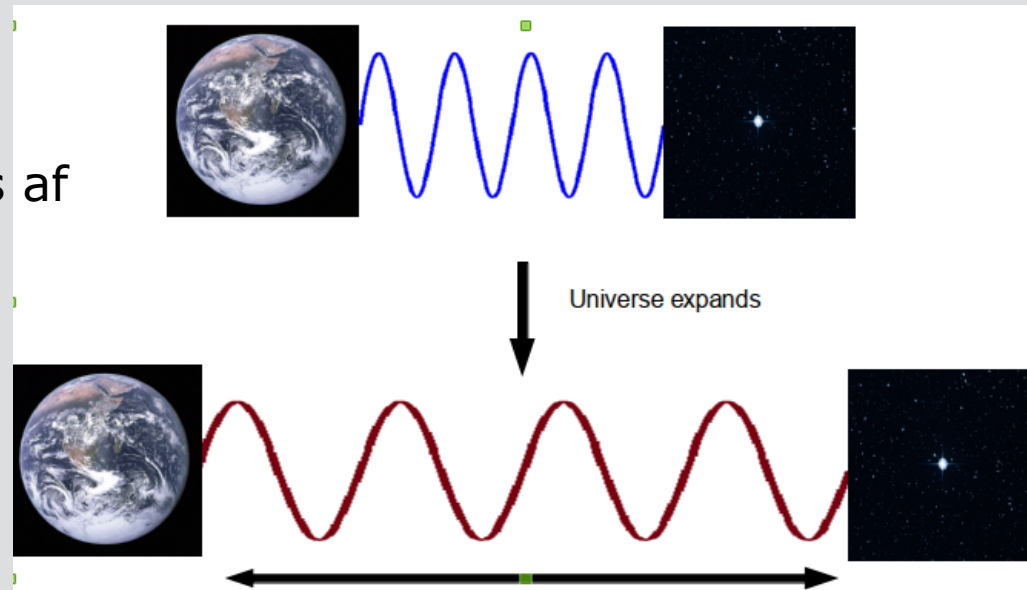
- Na 380 000 jaar:  
heelal werd doorzichtig!

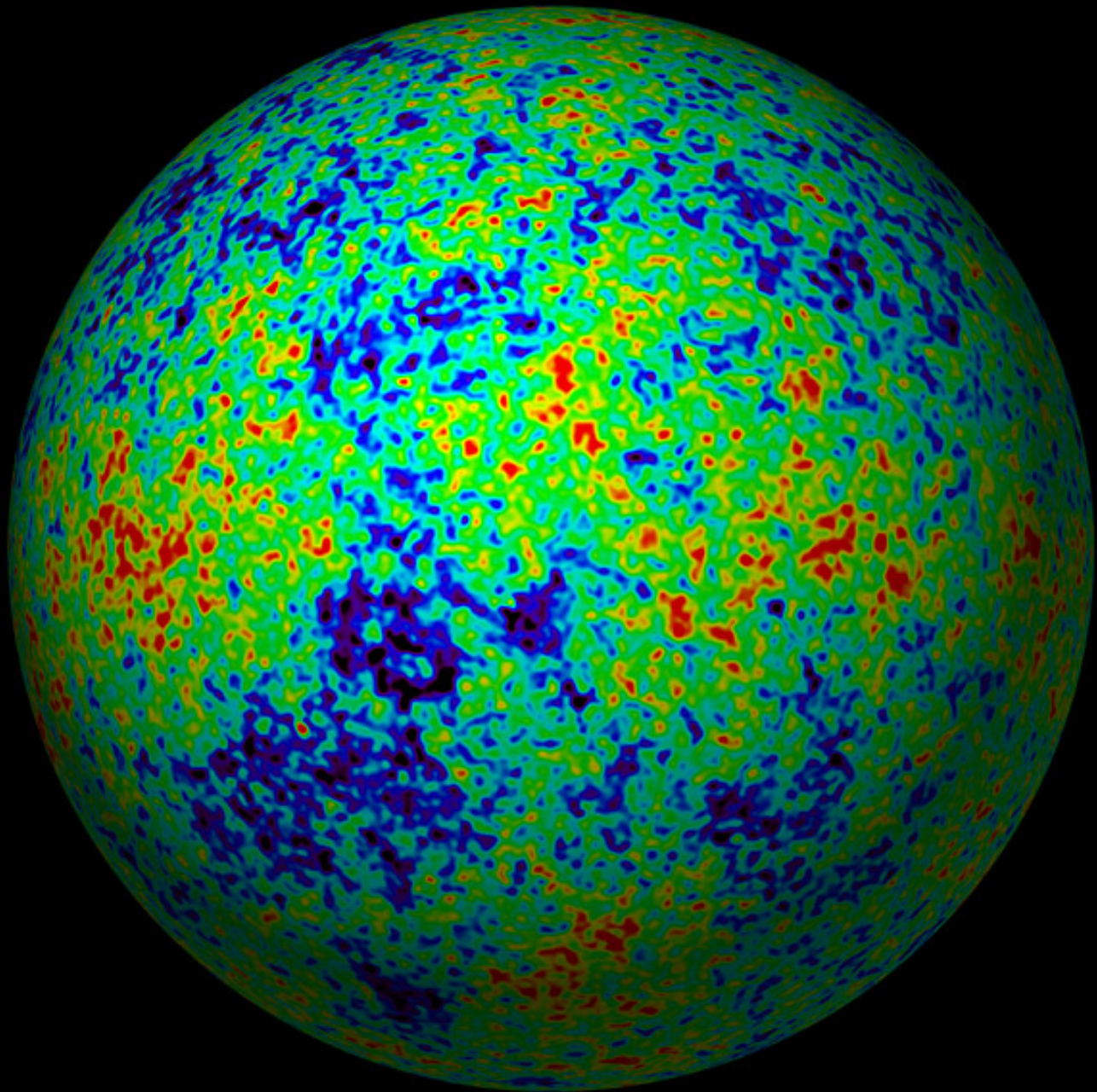




# “Kosmische Achtergrond Straling”

- Na 380 000 jaar:  
heelal werd doorzichtig!
- Lang geleden, dus ... :
  - nu ver weg
    - beweegt snel van ons af
    - lange golflengte
    - radio







# “Kosmische Achtergrond Straling”

- Na 380 000 jaar: heelal werd doorzichtig!
- Radio! (Golflengte  $7,35\text{cm} = 160.4\text{ GHz}$ )
- Ontdekking in 1964
- Nobel prizes 1978, 2006



## Big Bang

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

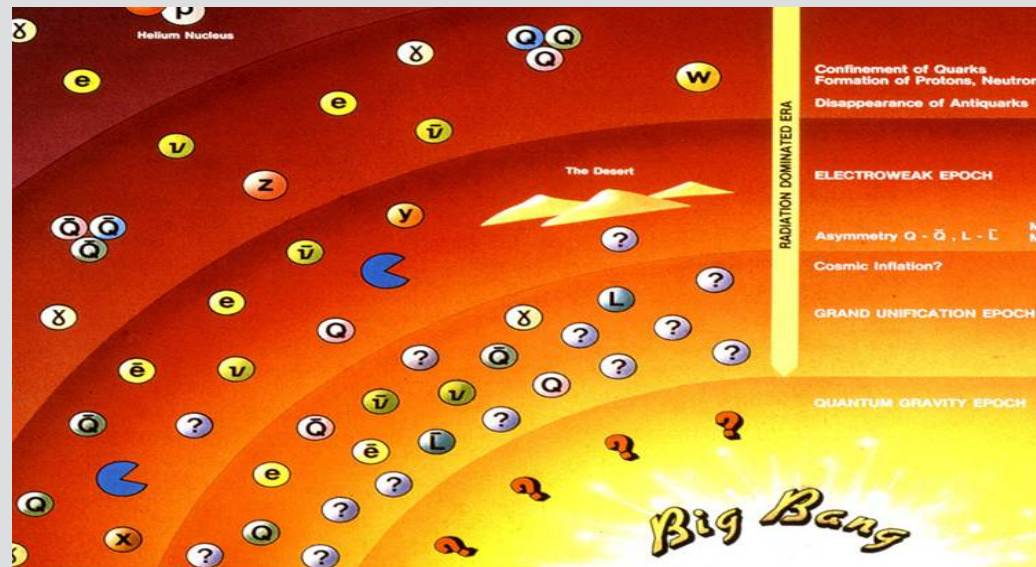


## Big Bang: OK

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

## Maar:

- Waar is alle anti-materie gebleven !?

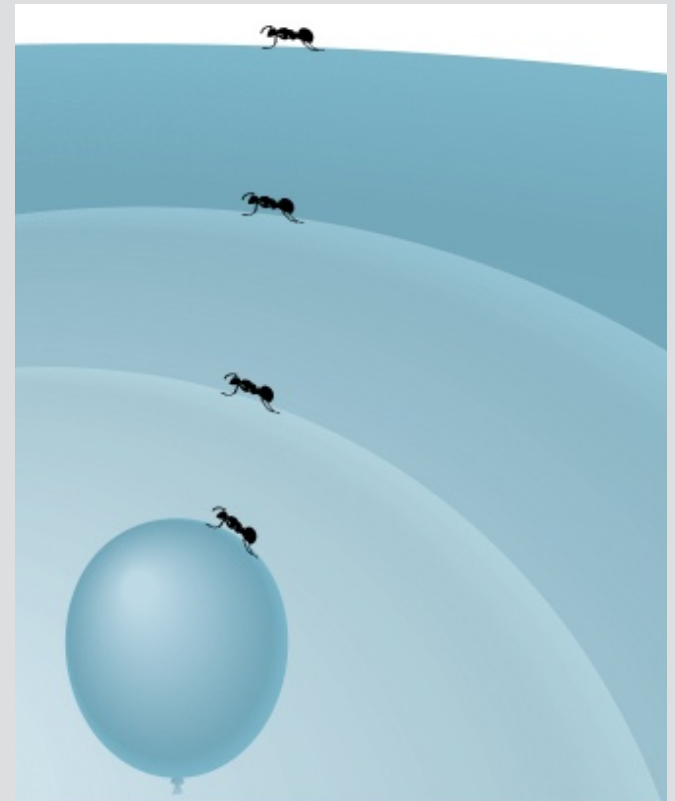


## Big Bang: OK

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

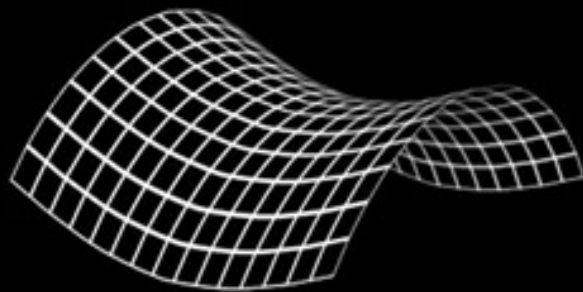
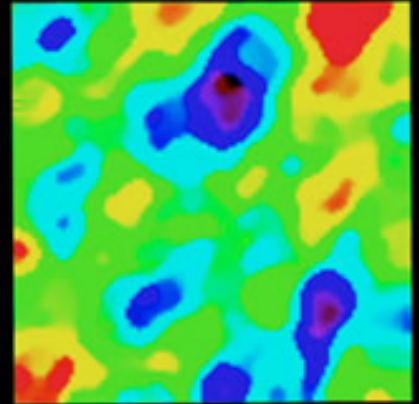
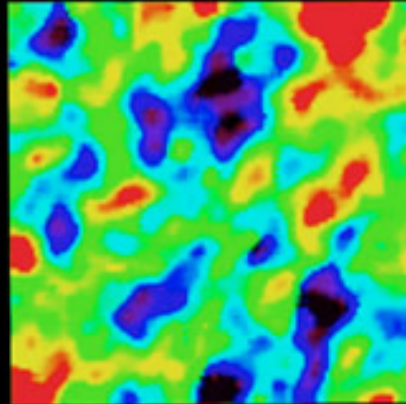
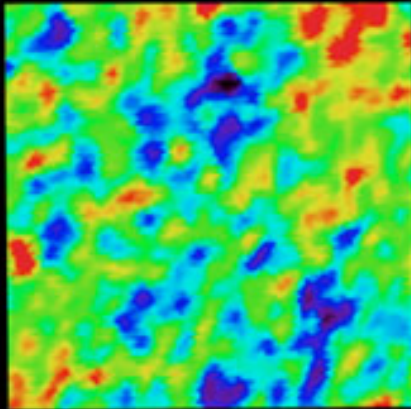
## Maar:

- Waar is alle anti-materie gebleven !?
- Heelal is te "plat" !?

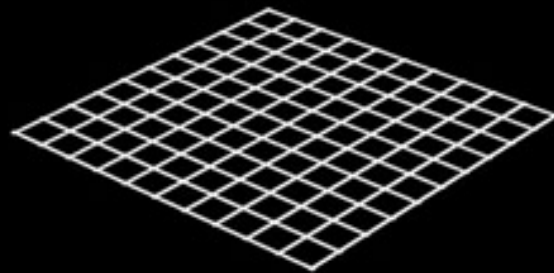




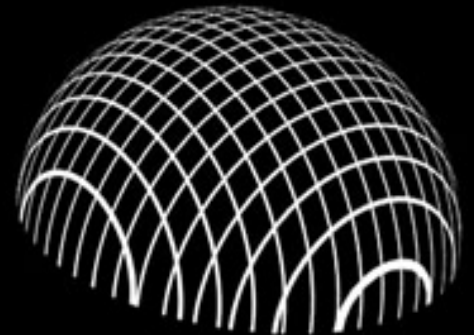
# GEOMETRY OF THE UNIVERSE



**OPEN**

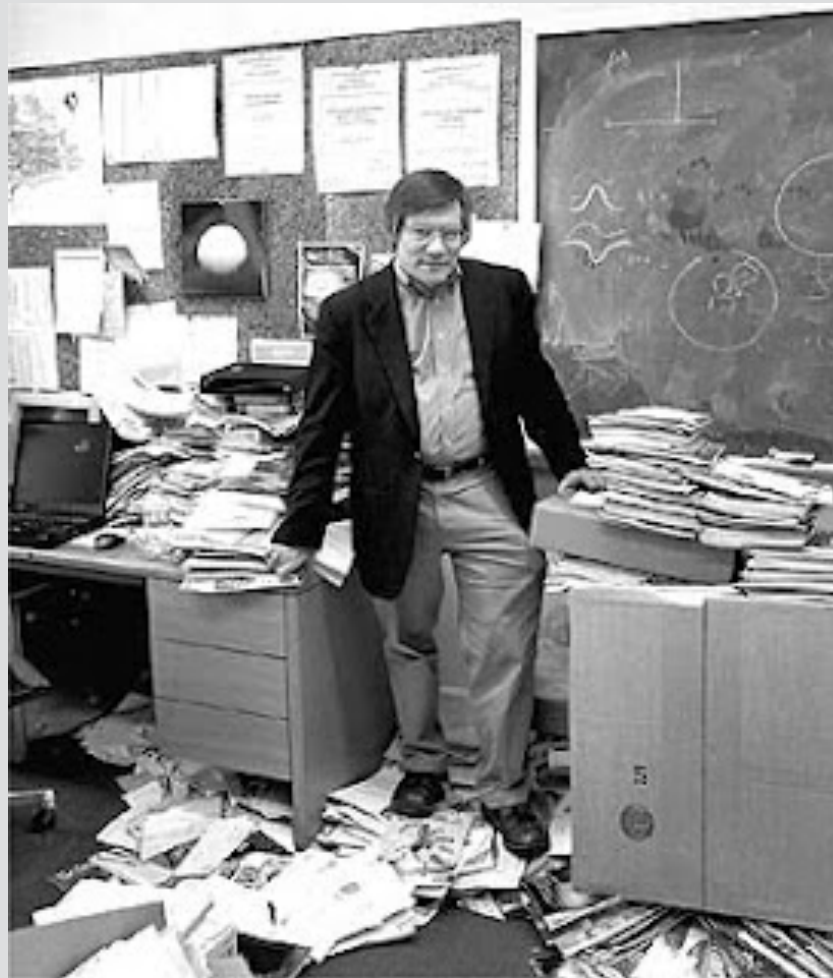


**FLAT**



**CLOSED**

## Het *begin* van de Big Bang ... "Inflatie"



Prof. Alan Guth  
1980



EV ⑤  
Dec 7, 1979

### SPECTACULAR REALIZATION :

This kind of supercooling can explain why the universe today is so incredibly flat — and therefore ~~why~~ resolve the fine-tuning paradox pointed out by Bob Dicke in his Einstein day lectures.

Let me first rederive the Dicke paradox.

He relies on the empirical fact that the deacceleration parameter today  $q_0$  is of order 1.



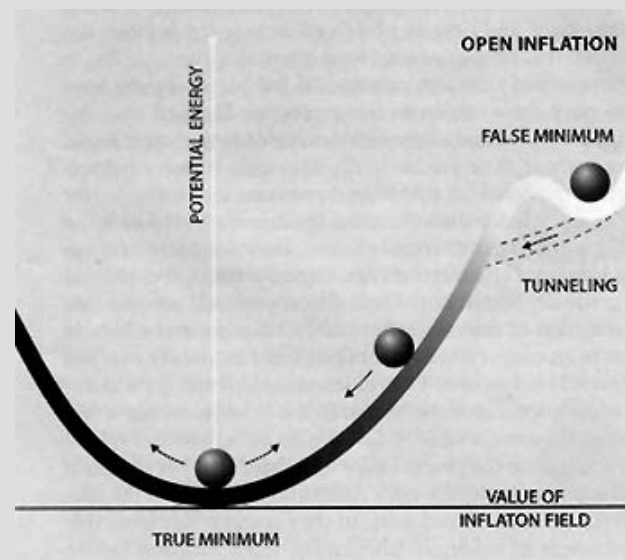
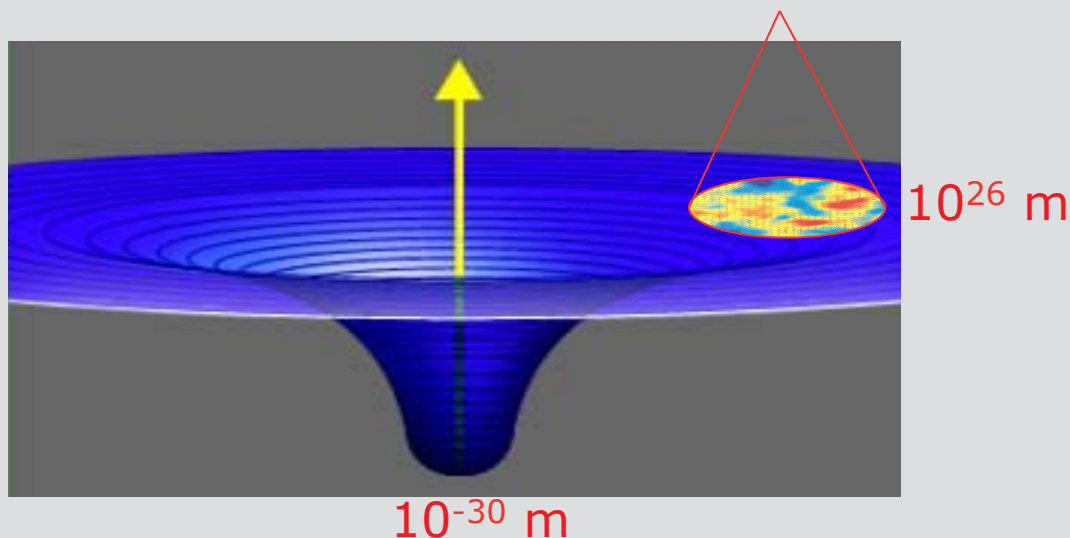
## Het *begin* van de Big Bang ... “Inflatie”

- Energie bron: vacuum energie
  - Afmeting:  $10^{-30}$  m
  - Duur:  $10^{-36}$  s
  - Expansie factor:  $10^{30}$
- “Voorspelt” homogeen, plat en groot uitdijend heelal

## Het *begin* van de Big Bang ... "Inflatie"

- Energie bron: vacuum energie
  - Afmeting:  $10^{-30}$  m
  - Duur:  $10^{-36}$  s
  - Expansie factor:  $10^{30}$
- Voorspelt homogeen, plat en groot uitdijend heelal

Ons zichtbare heelal





# Big Bang:

# Inflatie

# Anti-materie

# Big Bang:

Inflatie

Anti-materie



Higgs?



Pauze

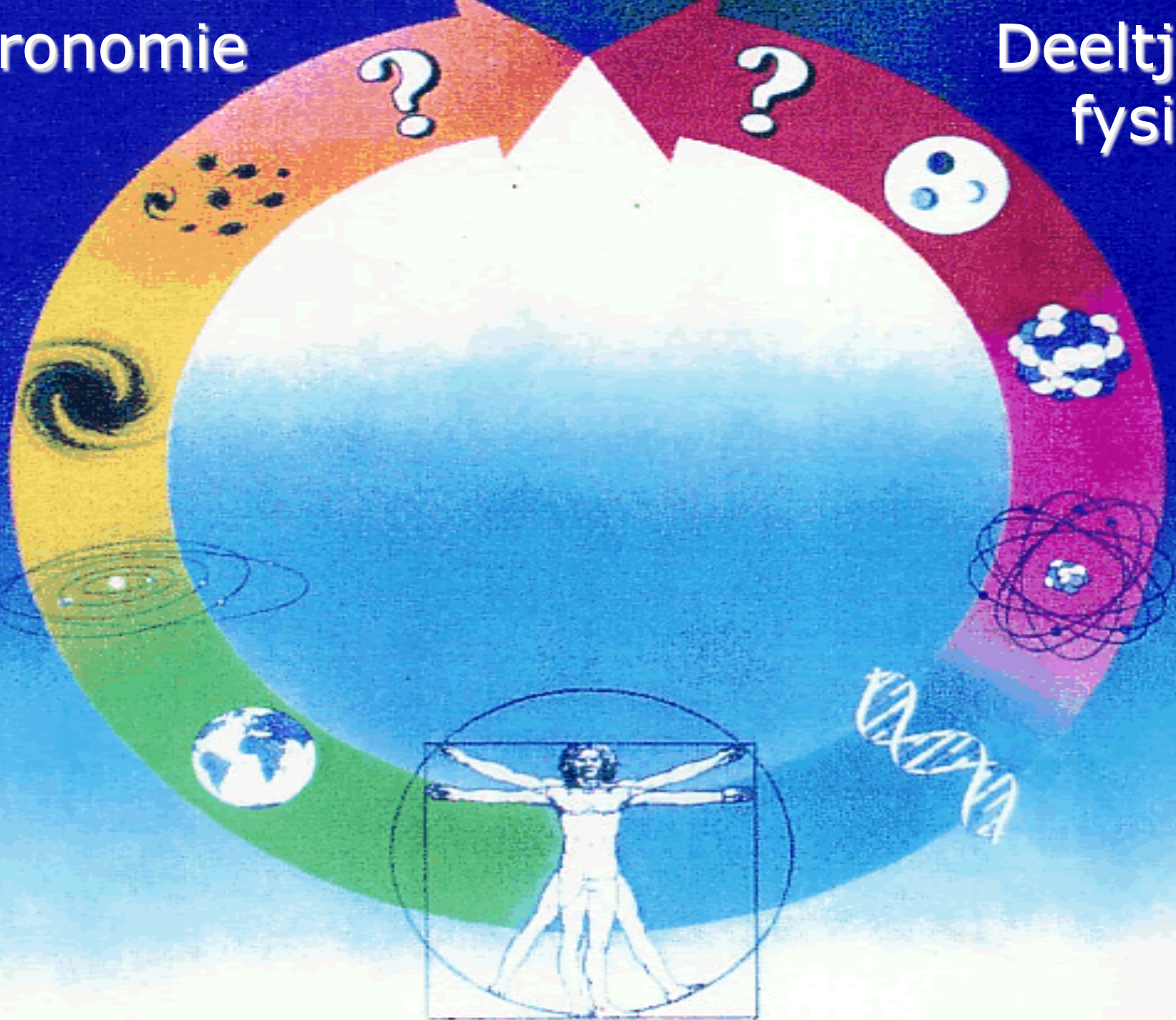




## Machten van tien

Astronomie

Deeltjes  
fysica





**Kairo is synoniem met seksueel geweld**

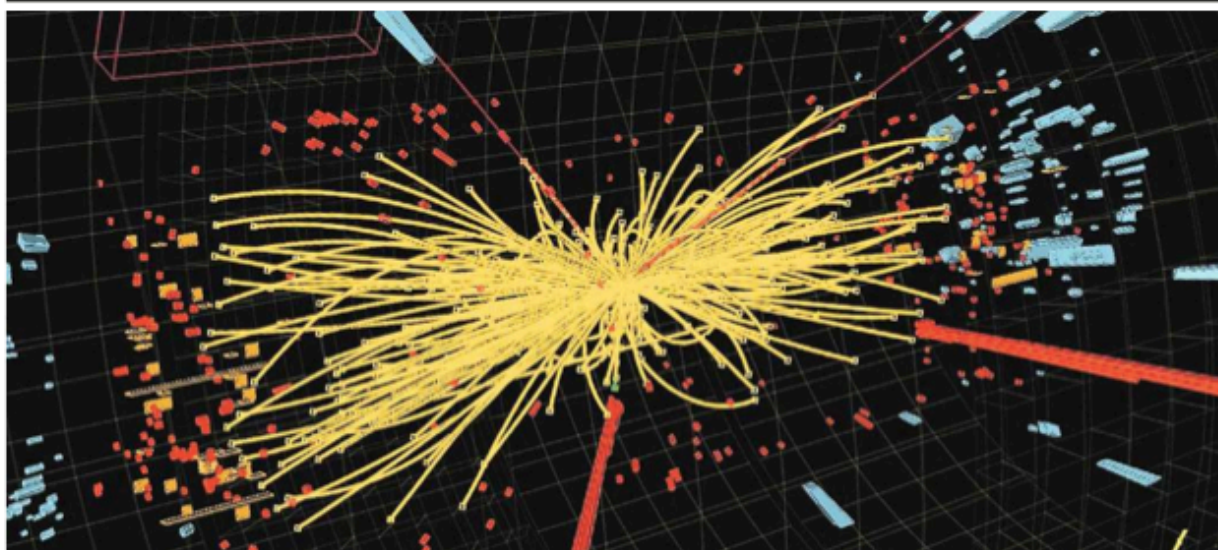
**buitenland 10**

**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.“

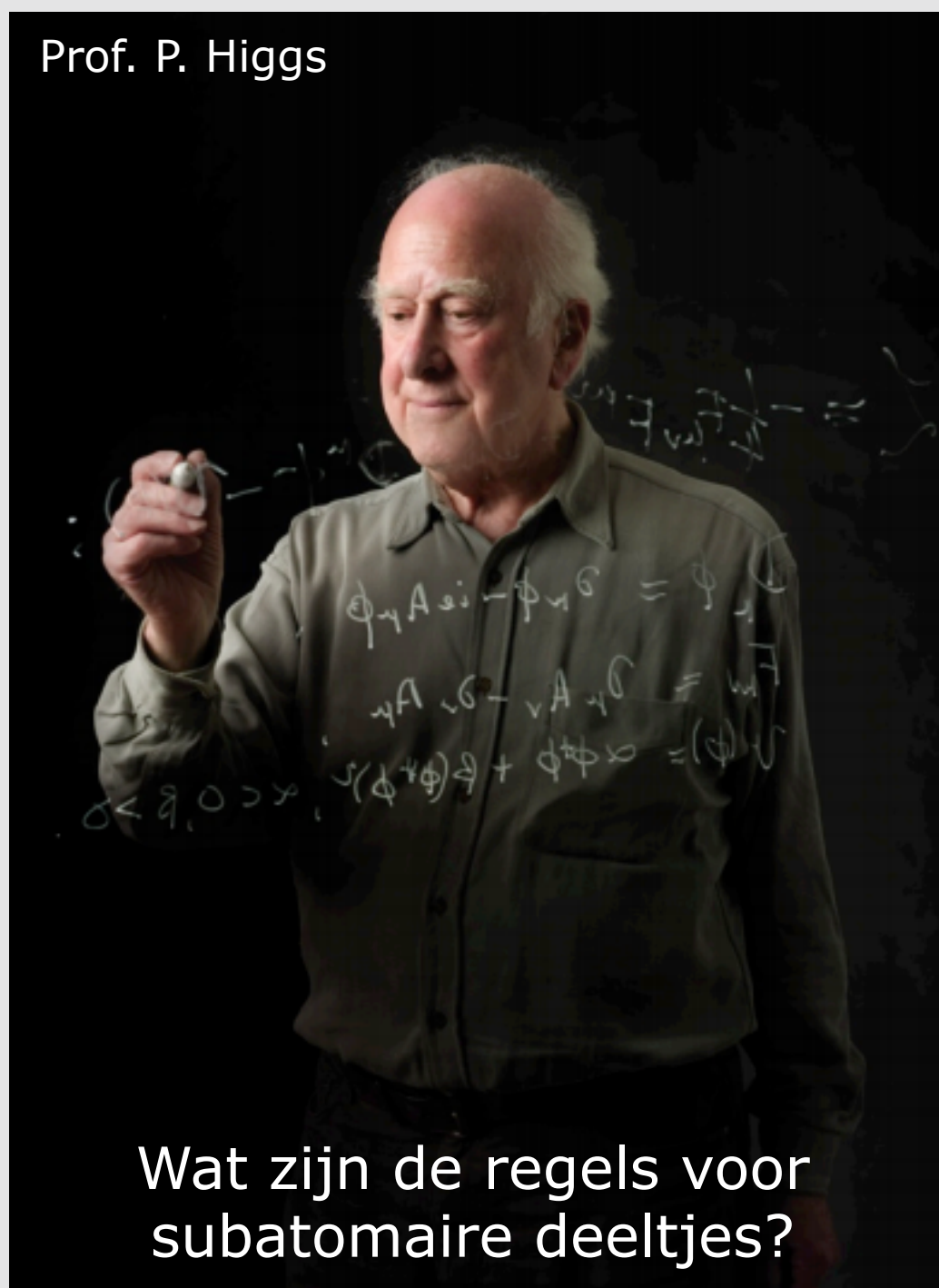
Maar mocht het geen Higgs-boson zijn, of zelfs maar een licht afwijkend Higgs-boson, dan zou dat nog groter nieuws zijn. Want meer nog dan naar het Higgs-boson, snakken natuurkundigen naar 'nieuwe natuurkunde': metingen of deeltjes die eindelijk eens een keer niet overeenkomen met het Standaardmodel,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



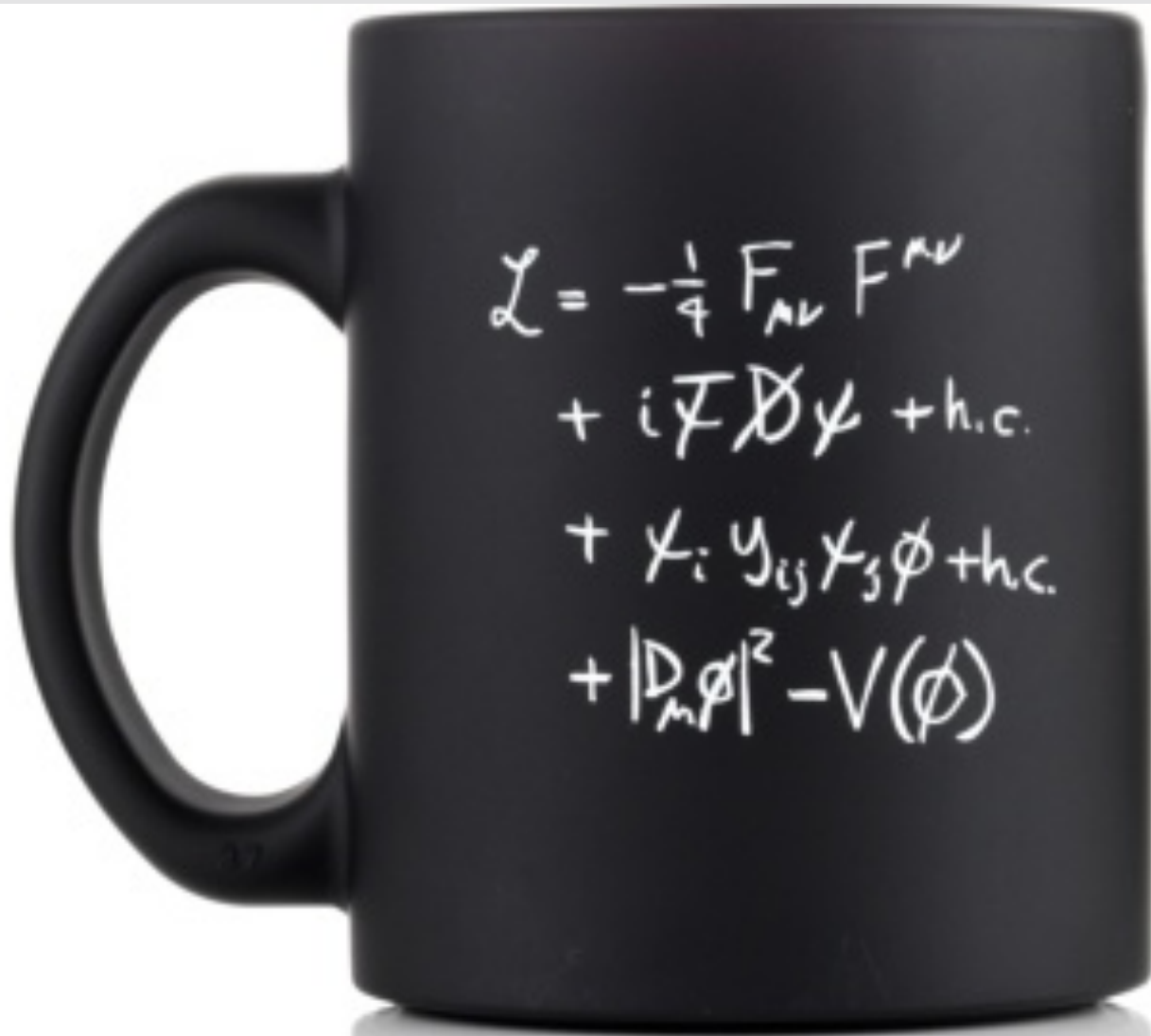
# Hoe de Higgs het *verschil* maakt

- 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, ...)

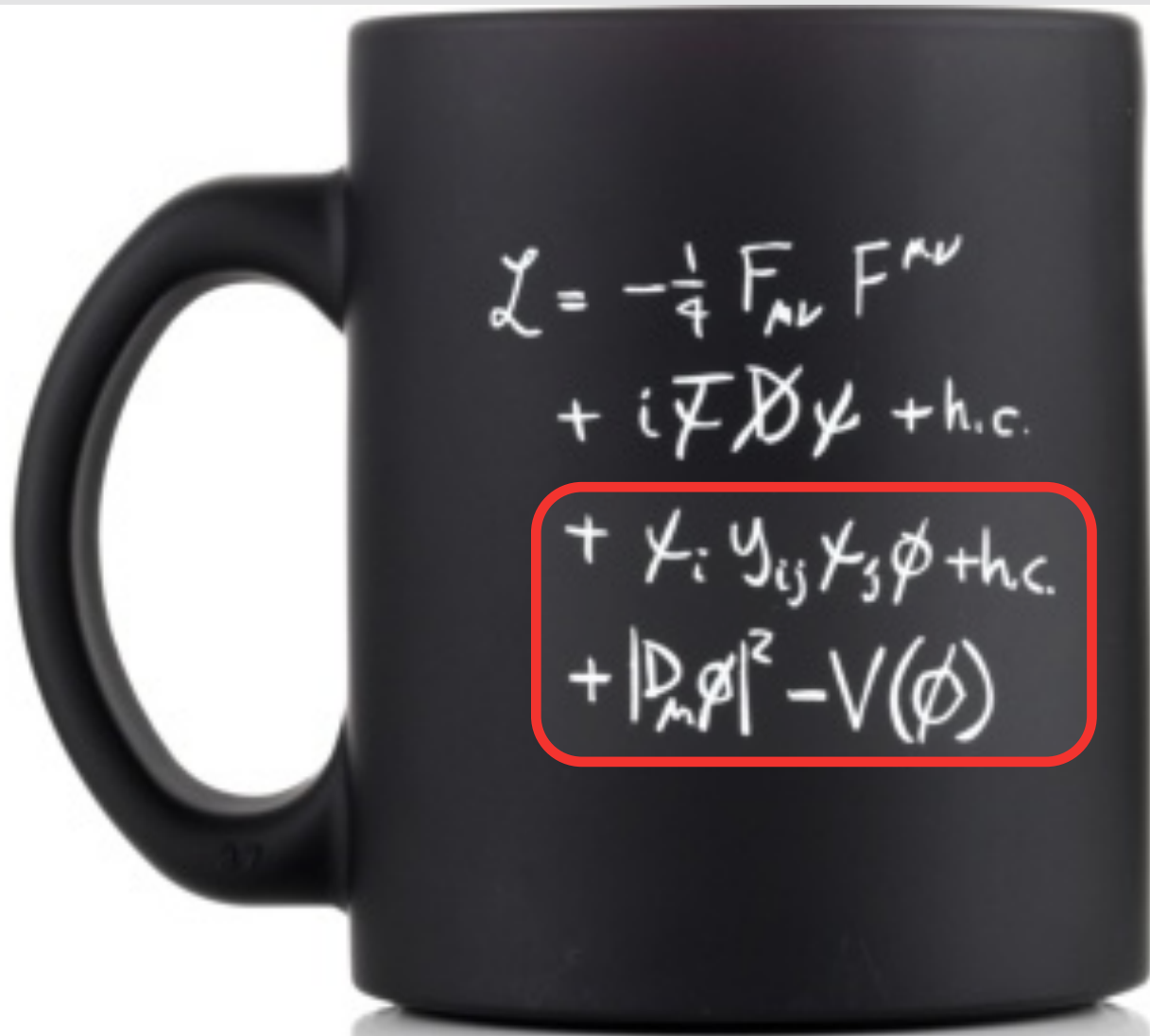
## Interacties $D$

(hoe de deeltjes elkaar  
"voelen")

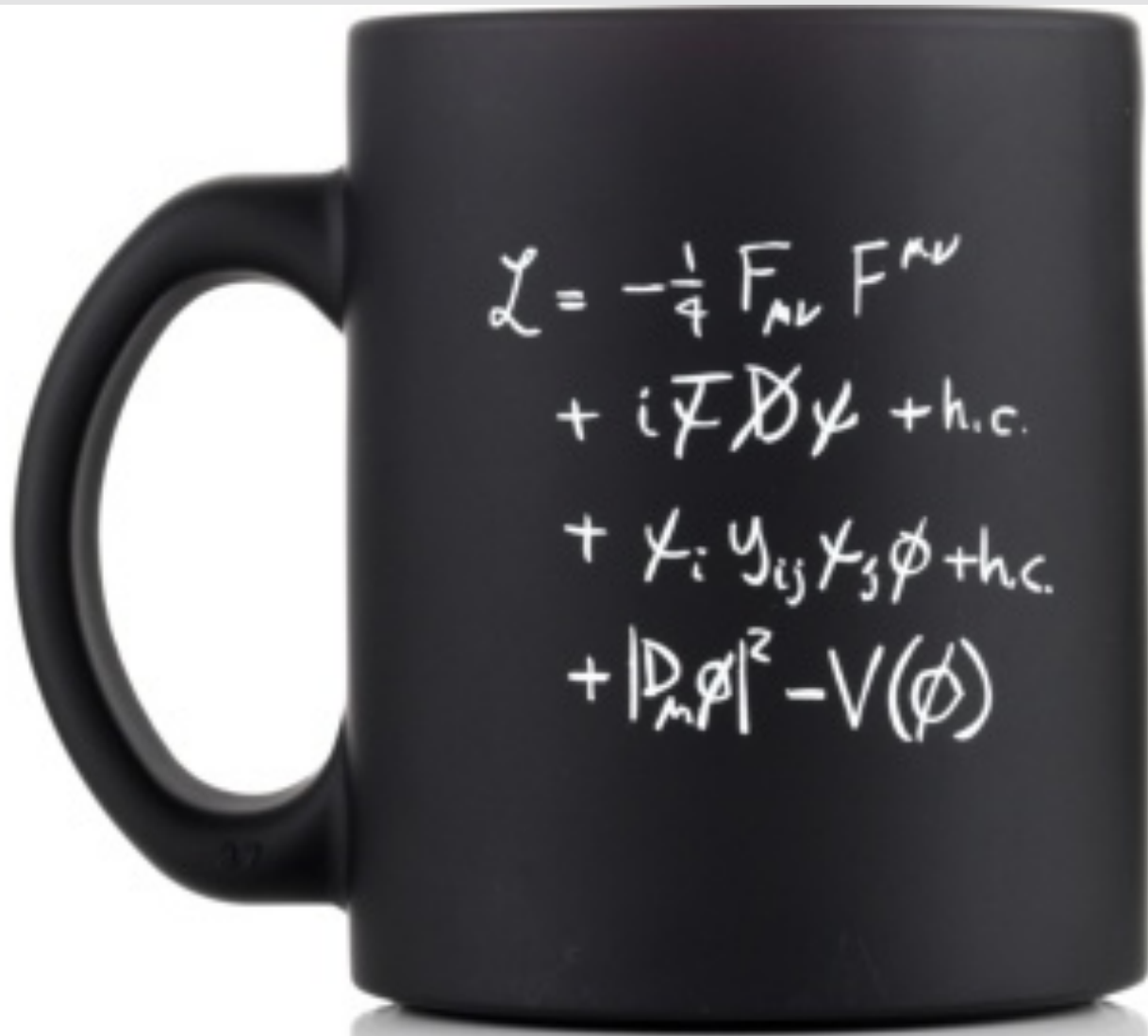
$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i \bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \chi_i Y_{ij} \chi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

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

$\phi$  **Higgs**



➤ Helft van de mok gaat over Higgs!

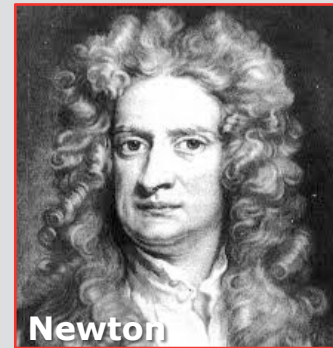


Te koop in de CERN winkel



## Massa?

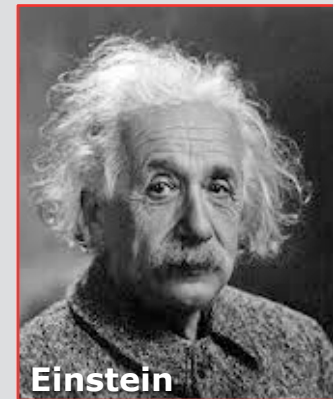
$$F = m \times a$$



Newton

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

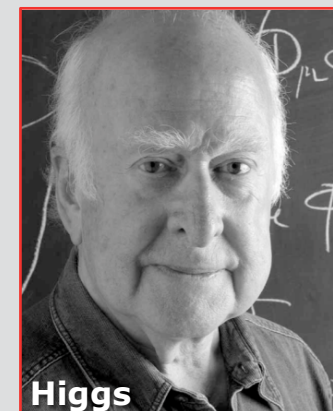
$$E = m \times c^2$$



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?

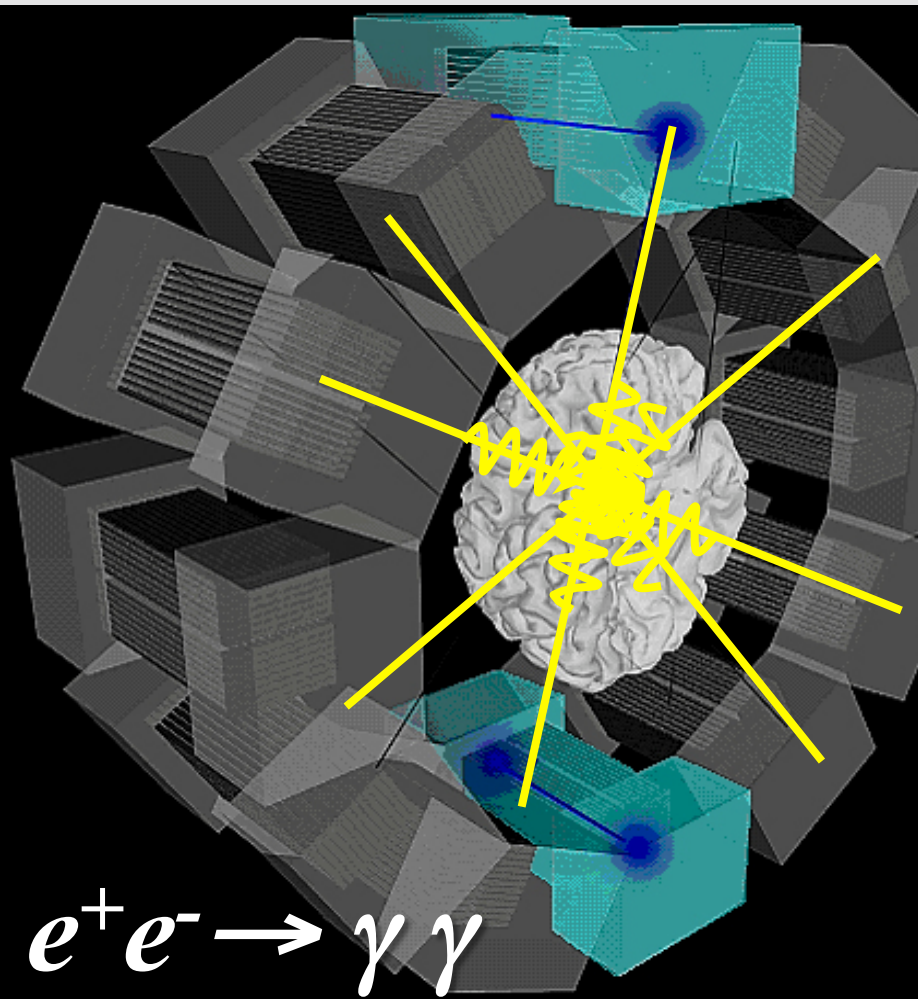


# Anti-materie?

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

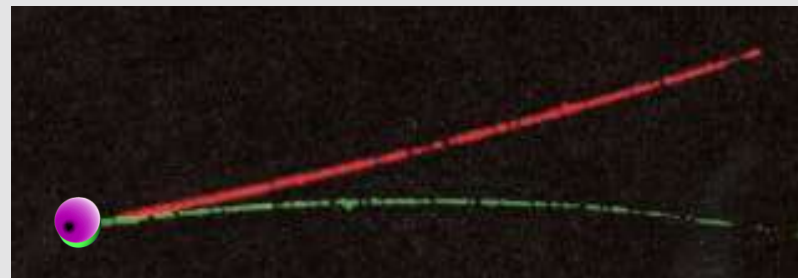
# Anti-materie?

- 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:





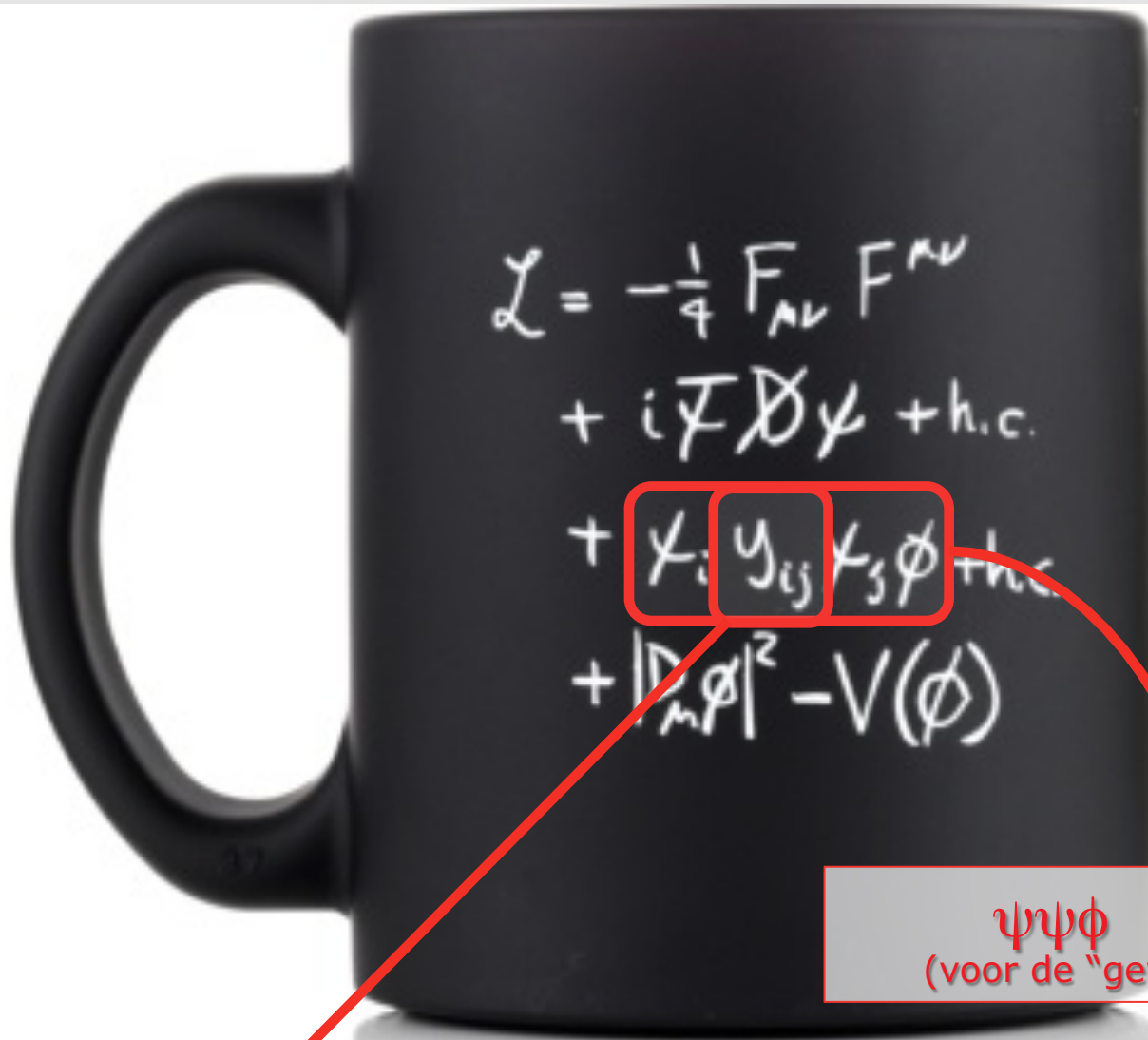
Waar is de anti-materie gebleven?



## 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)

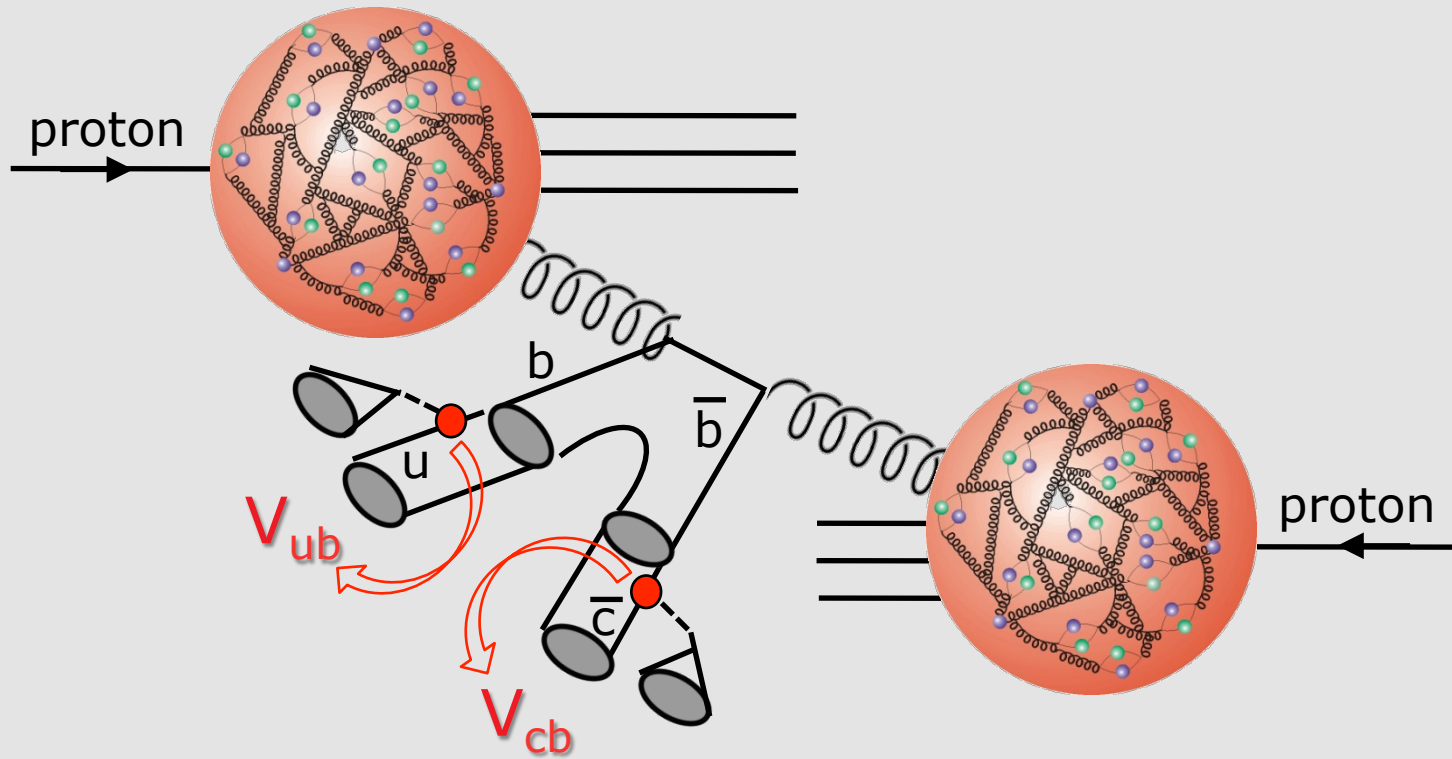
$Y_{ij}$  **Verschil tussen materie  
en anti-materie!**

## Hoe de Higgs het *verschil* maakt



- Hoe onderzoeken wij dit verschil?



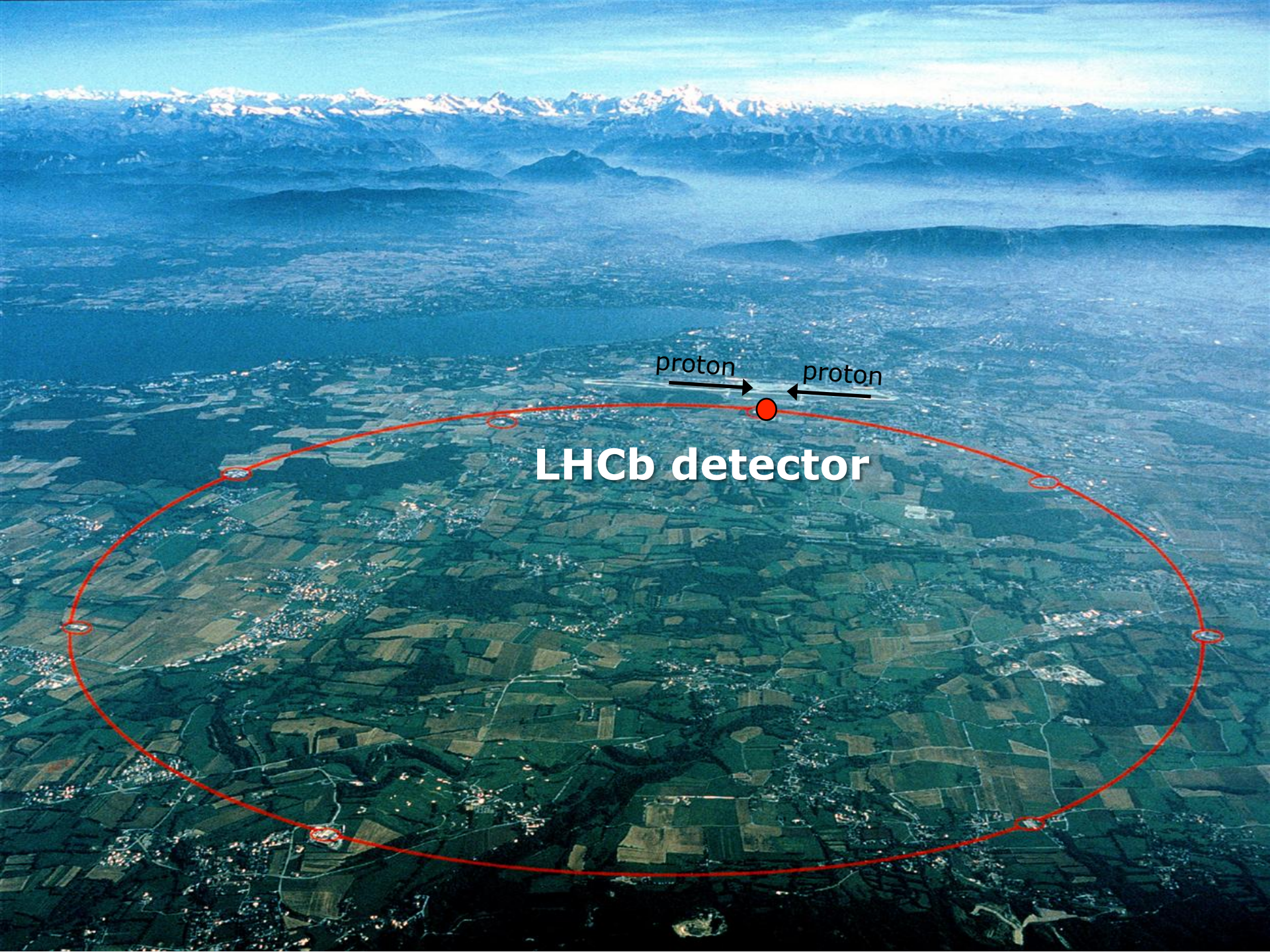


$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + \text{h.c.} + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

$$Y_{ij} \rightarrow V_{cb}, V_{ub}$$

Verschil tussen materie en anti-materie





proton

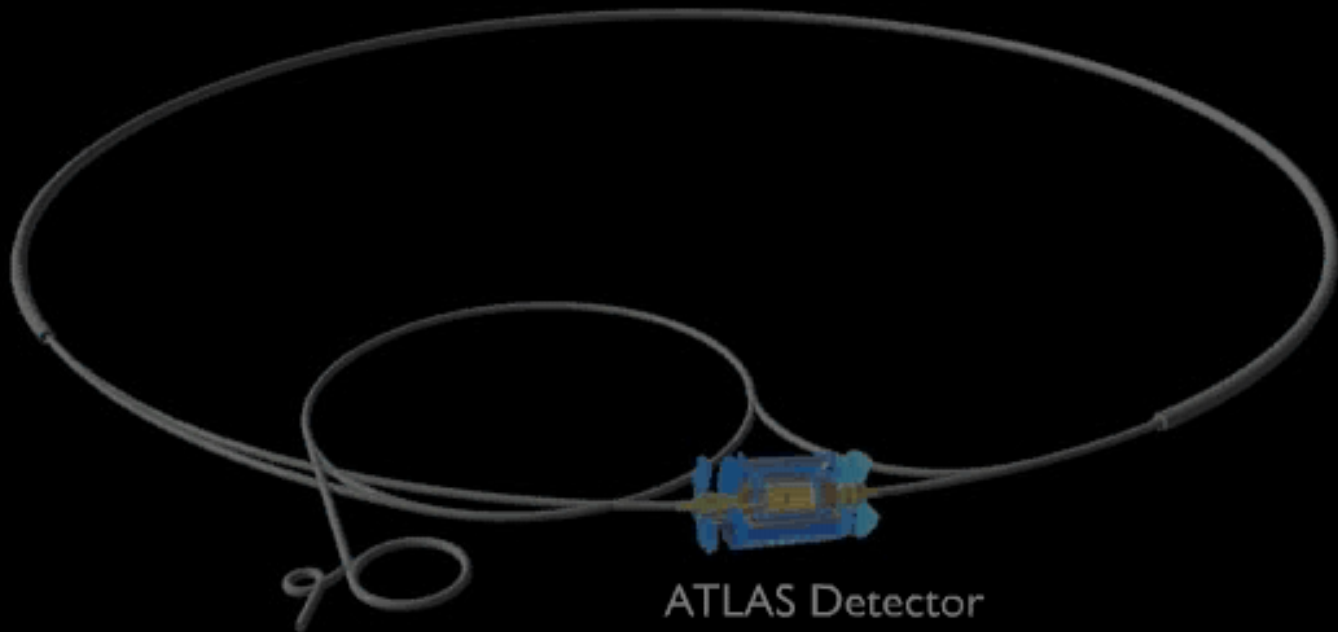
proton

LHCb detector

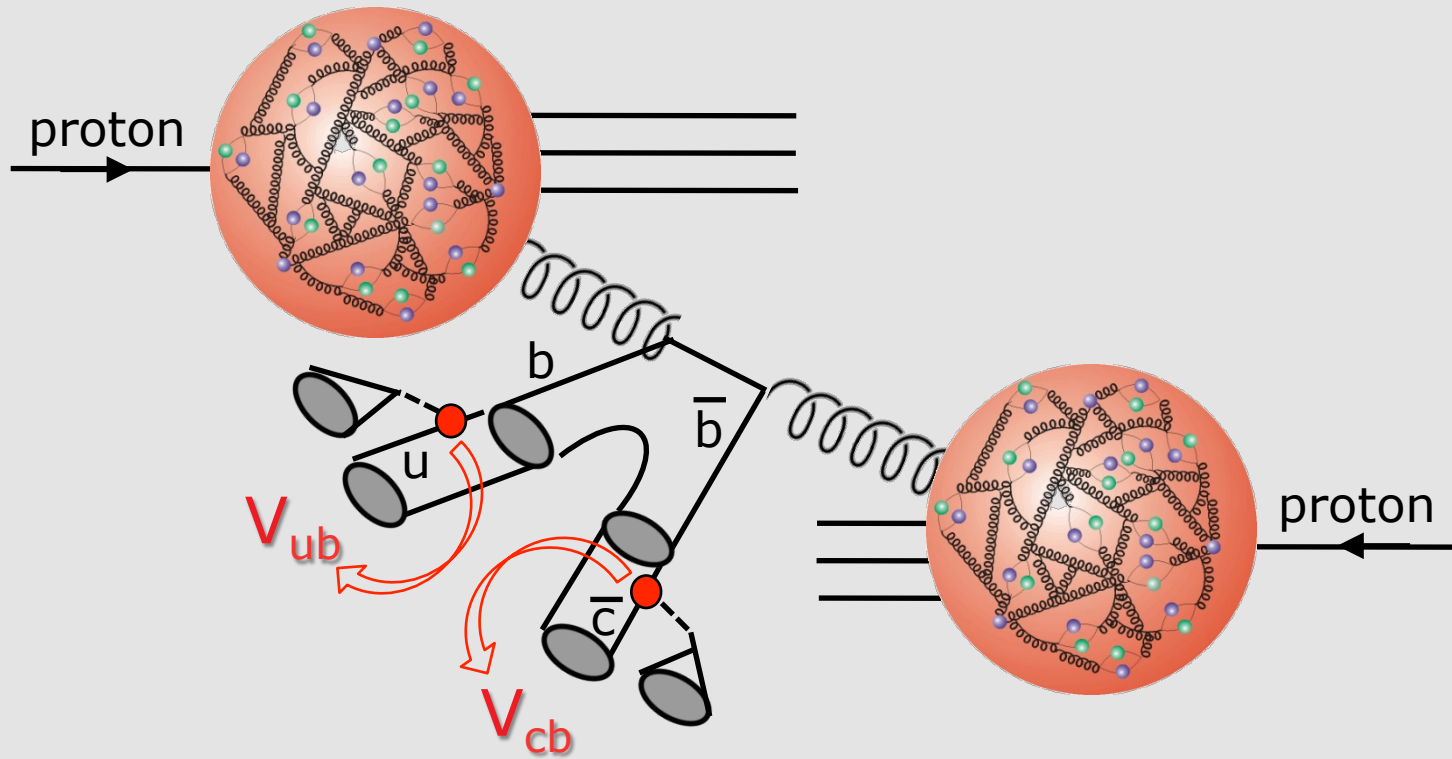


PLAY ▶

Large Hadron Collider



ATLAS Detector



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

$$Y_{ij} \rightarrow V_{cb}, V_{ub}$$

Verschil tussen materie en anti-materie



## Hoe de Higgs het *verschil* maakt

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

## Higgs

- Het Begin?
- Het Einde?

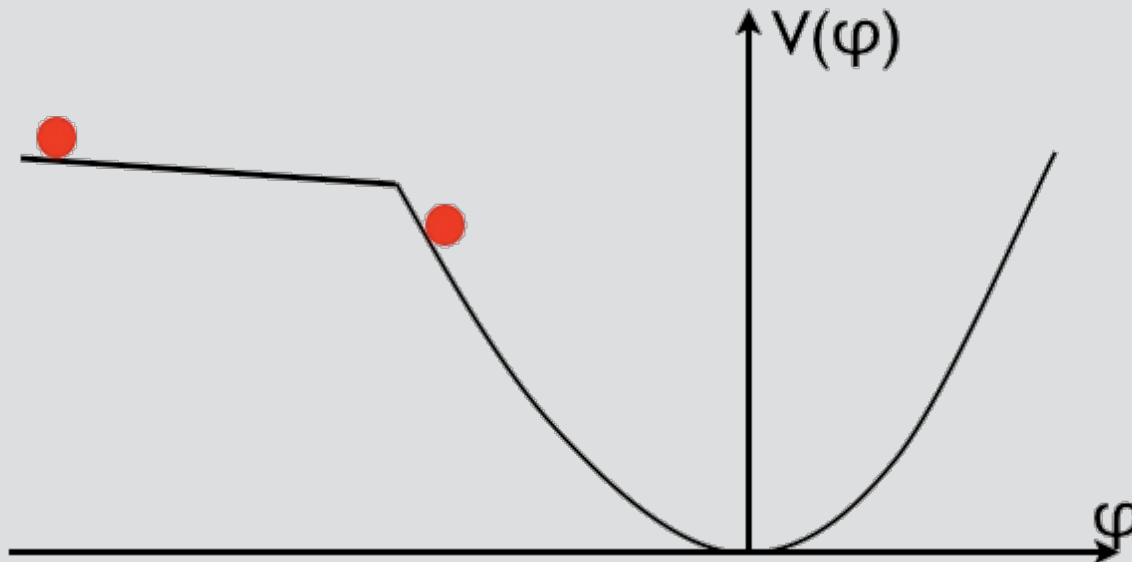


# Higgs: Het Begin?

## 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

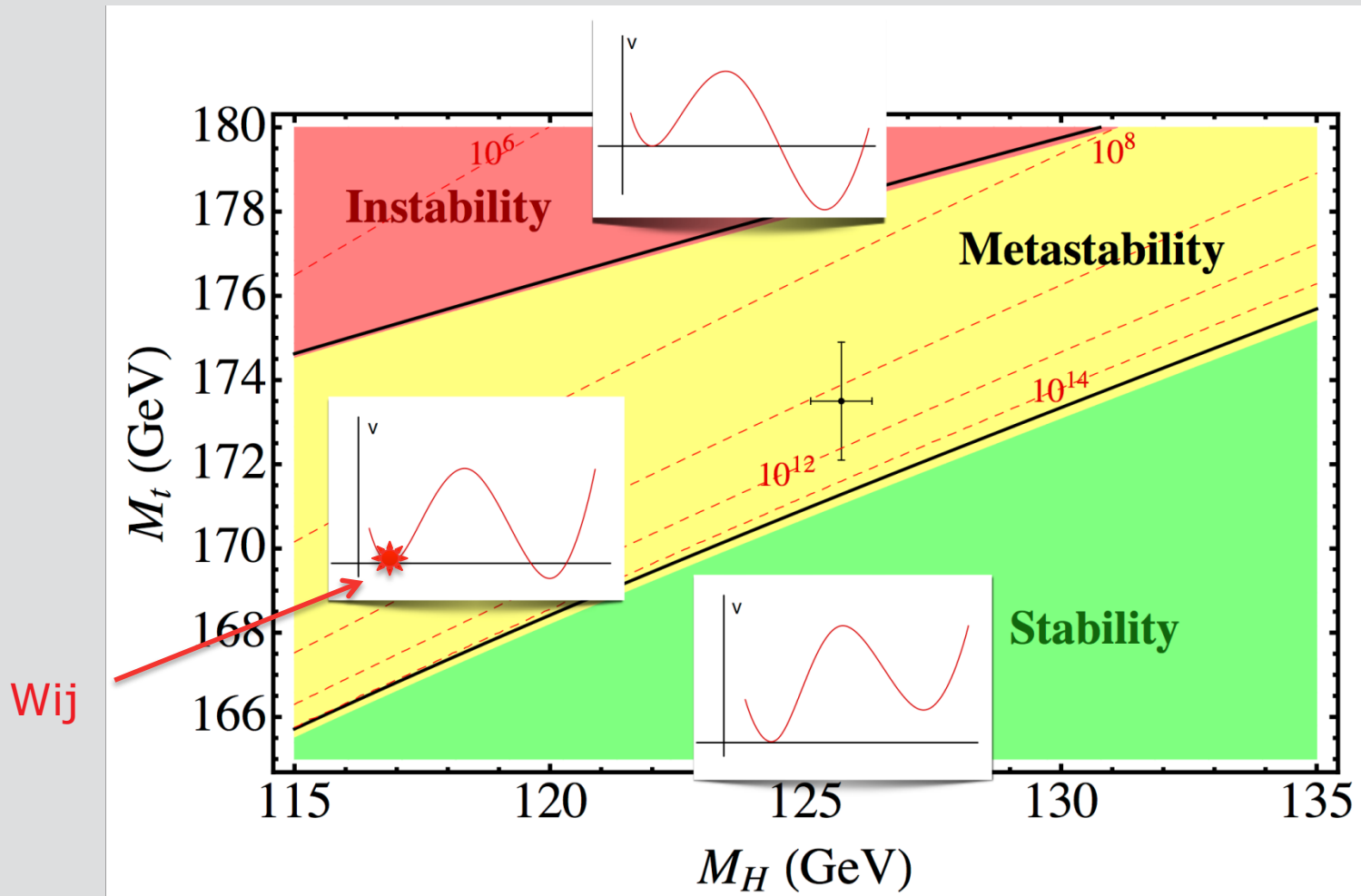






# Higgs: Het Einde?

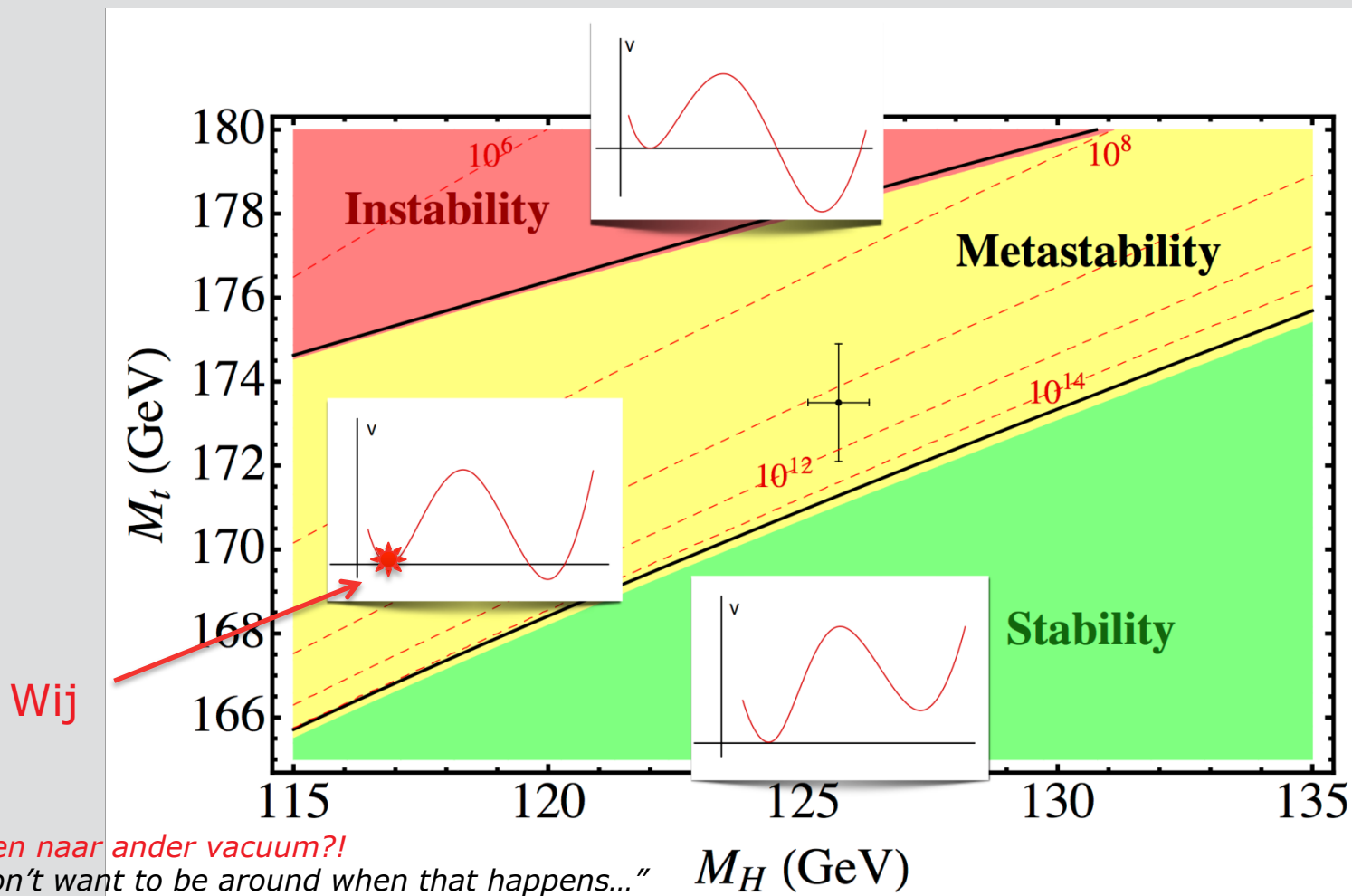
# Higgs: Het Einde?



*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?

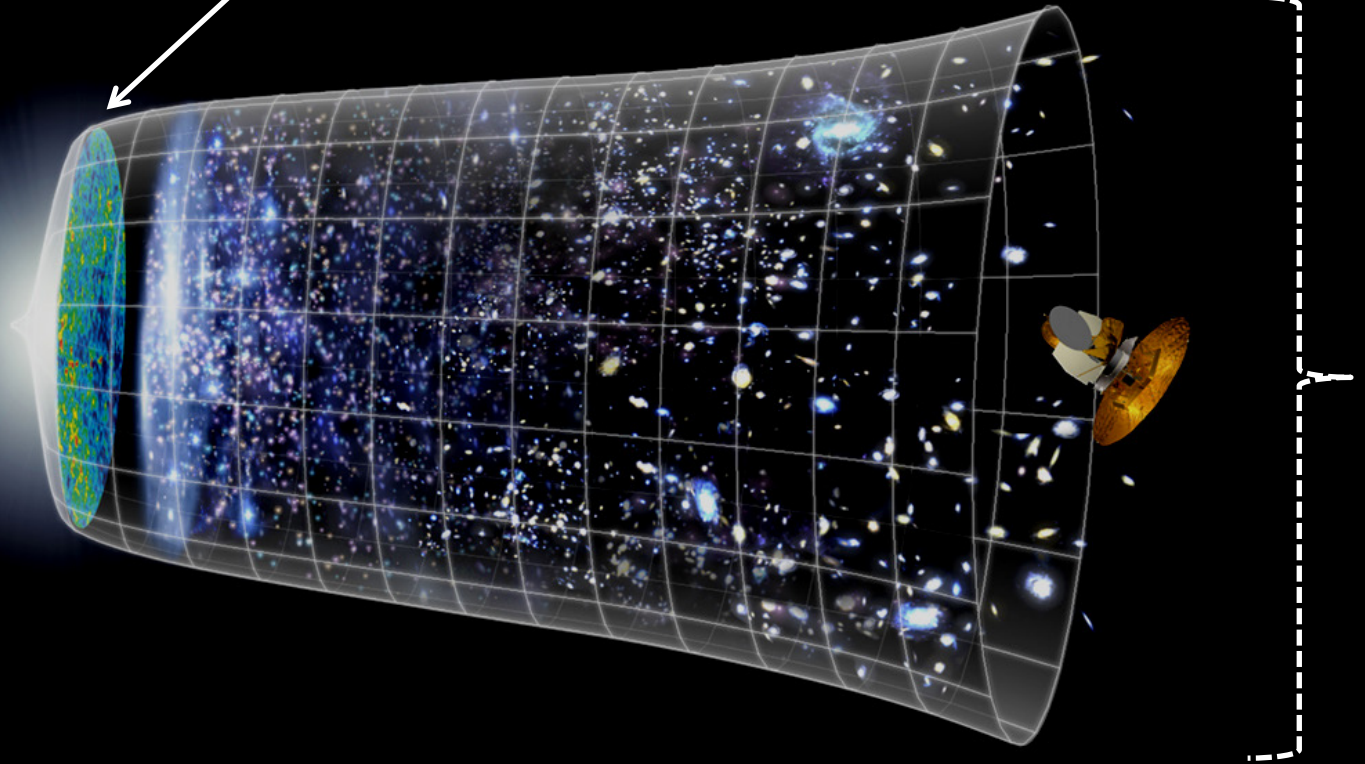


# Higgs?

Inflatie?

Anti-materie  
verschil?

Instabiel vacuum?



tijd





**Bedankt voor uw aandacht!**