



Probus
Aalsmeer
20 mei 2015

NIKHEF

Alles en Niks

VAN DE OERKNAL TOT HIGGS

Niels Tuning



Alles en niks

wat leert het allerkleinste ons

over het allergrootste

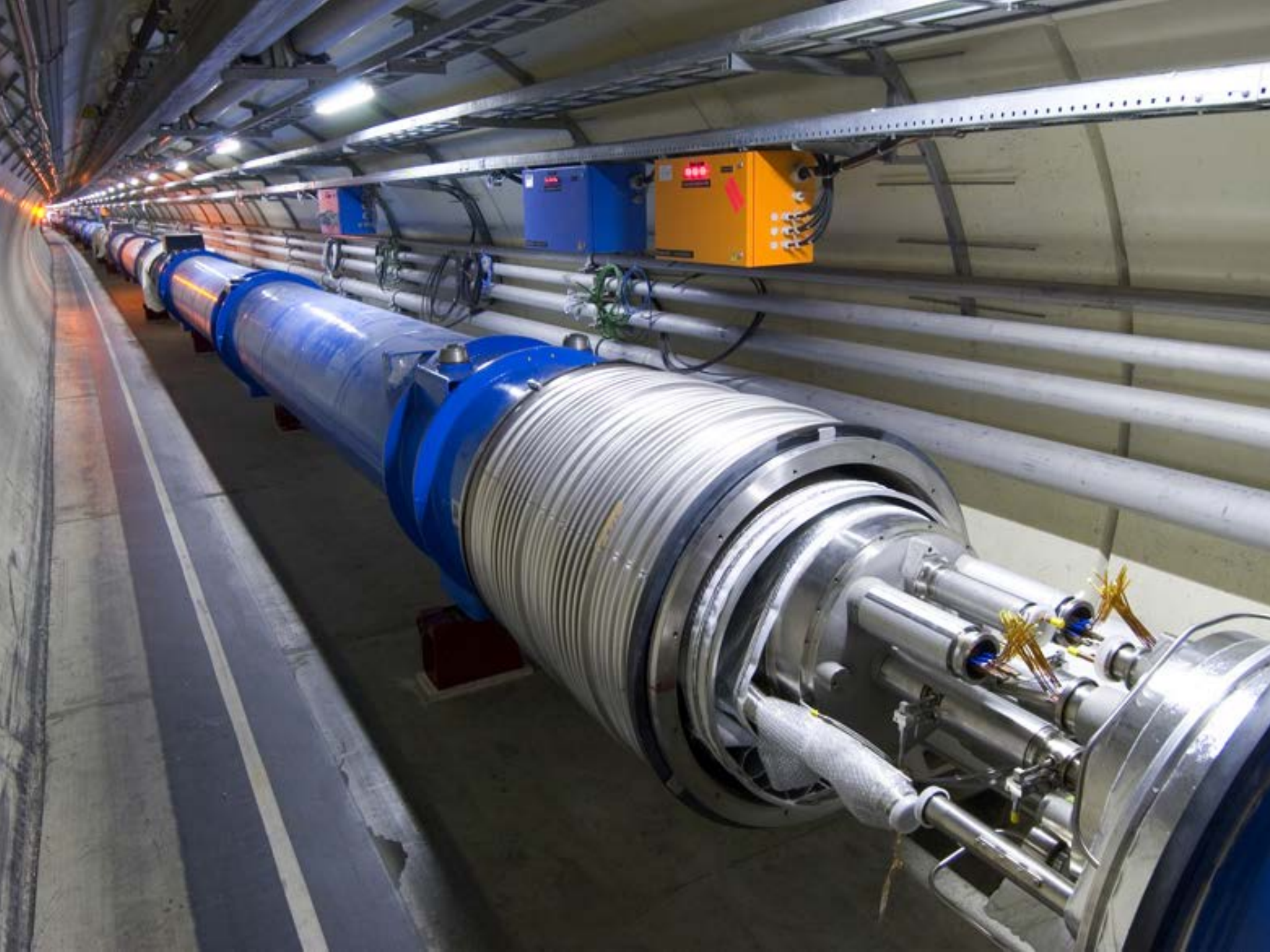
Alles en niks

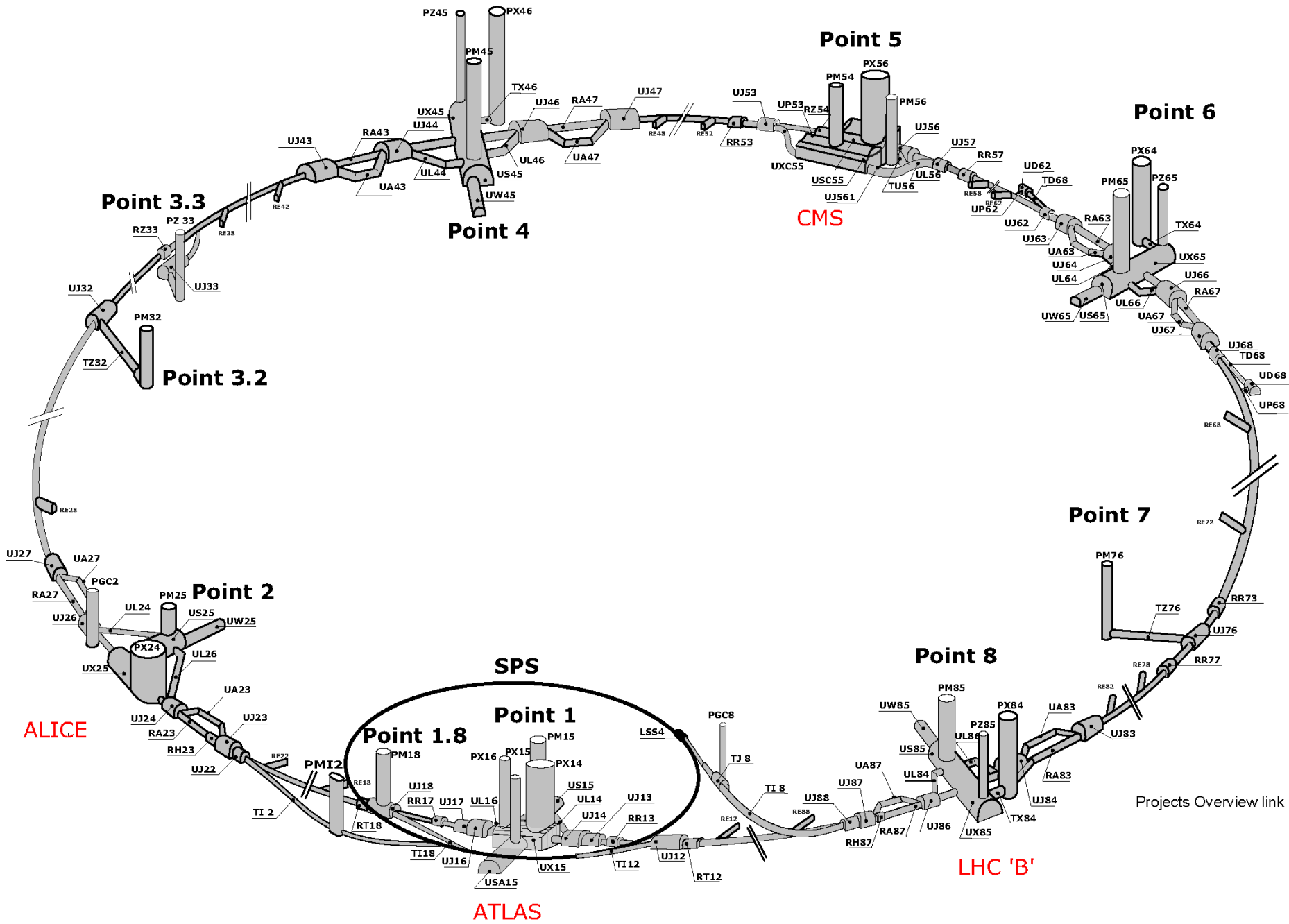
wat leert het allerkleinste ons

over het allergrootste

- Versneller
- De oerknal
- Higgs en anti-materie





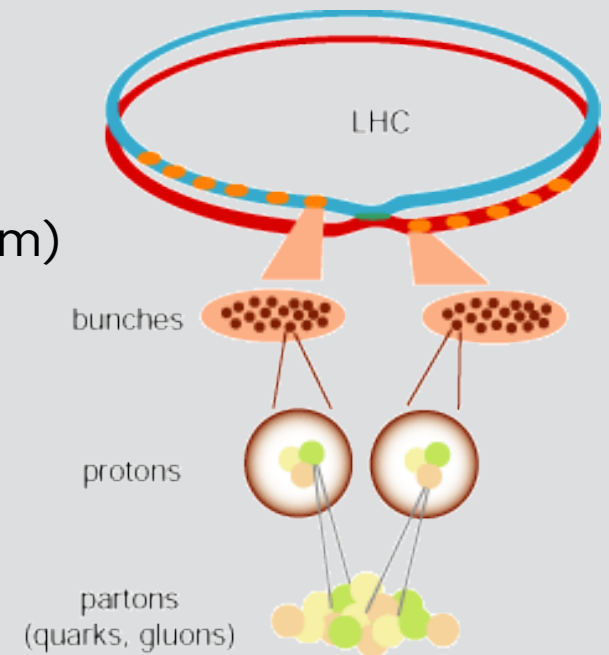


LHC: live

- <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)
- 99.9999991% van lichtsnelheid
- 2808 "bunches" met elk 10^{12} protonen (elke 8m)
- Energieverbruik 120 MW
- Opgeslagen energie: 362 MJ
- Bouwkosten: \$ 4.1 miljard



LHC in getallen

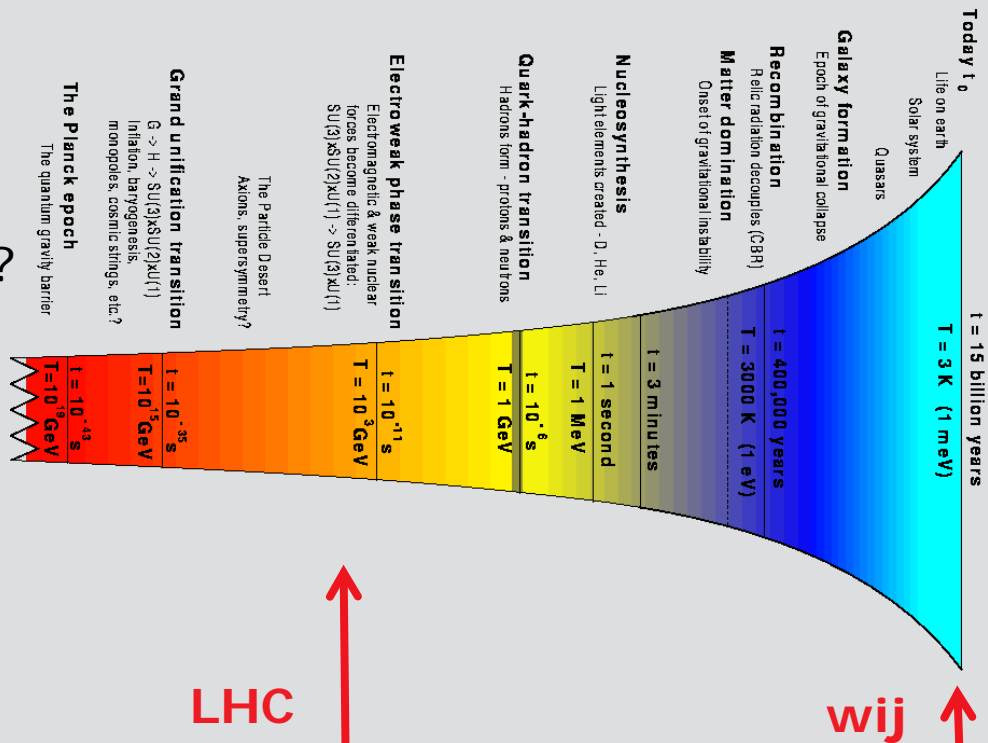
- 1232 "dipool" magneten (totaal 9300)
- 99.9999991% van lichtsnelheid
- 2808 "bunches" met elk 10^{12} protonen (elke 8m)
- Energieverbruik 120 MW
- Opgeslagen energie: 362 MJ
- Bouwkosten: \$ 4.1 miljard



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





Waarom?



Waarom?

- Omdat we willen weten

Waarom?

- Omdat we willen weten
- De mens verwondert zich

- *(Wat is het nut van kunst?)*

Wat is hier gebeurd...?



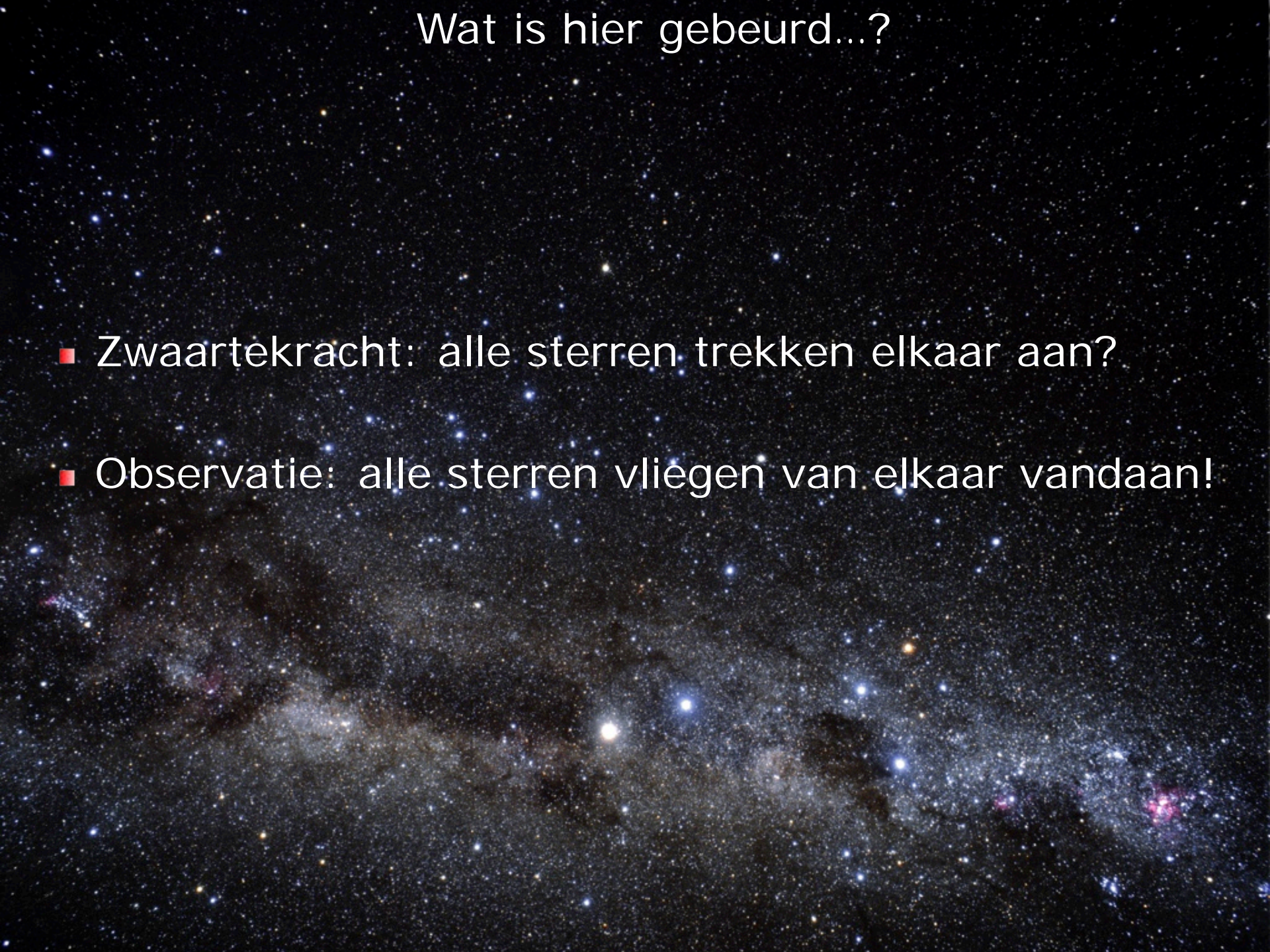
Wat is hier gebeurd...?

- Zwaartekracht: alle sterren trekken elkaar aan?



Wat is hier gebeurd...?

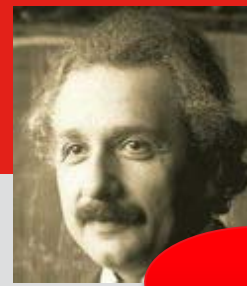
- Zwaartekracht: alle sterren trekken elkaar aan?
- Observatie: alle sterren vliegen van elkaar vandaan!



Big Bang

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

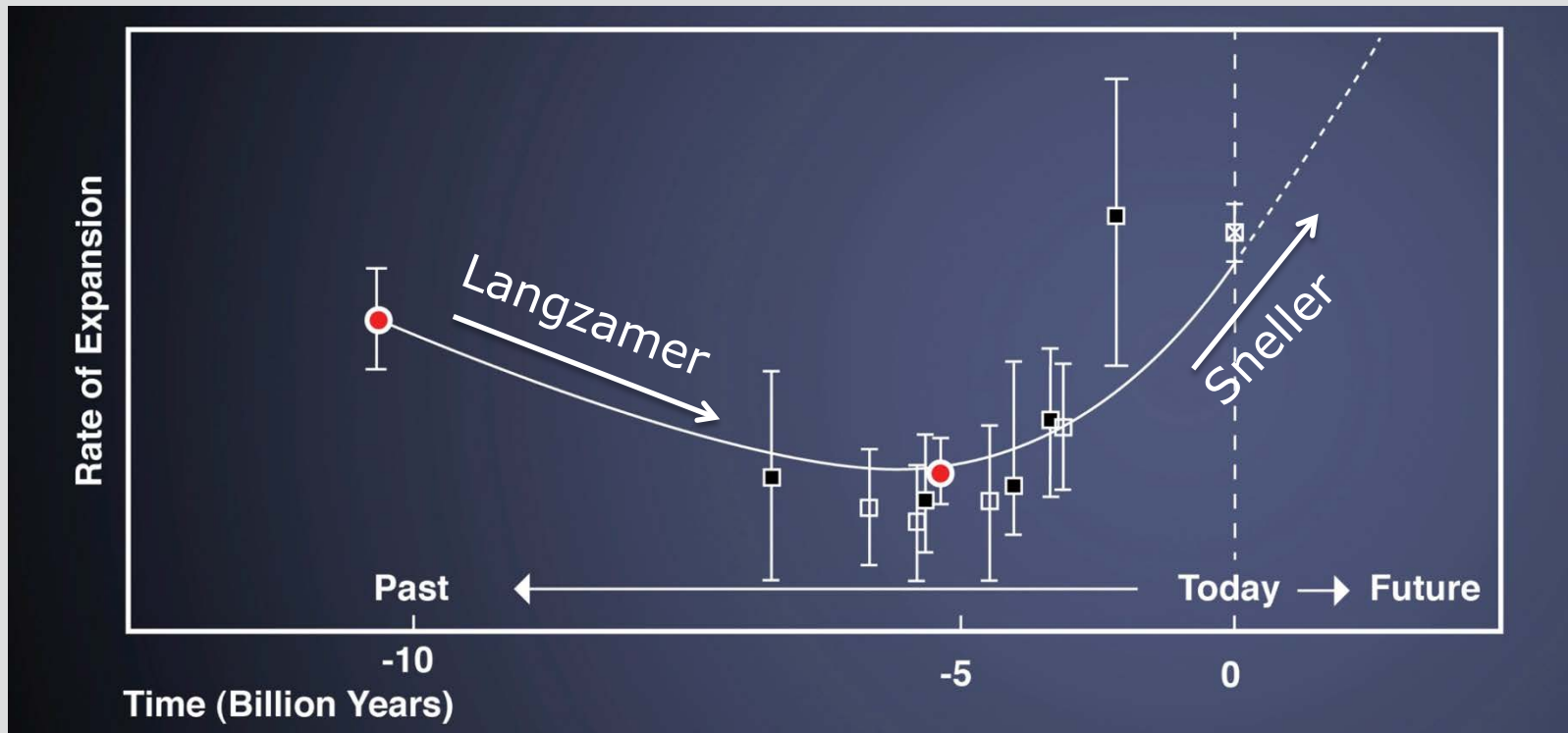




„größte Eselei
meines Lebens“ ?!

Uitdijng

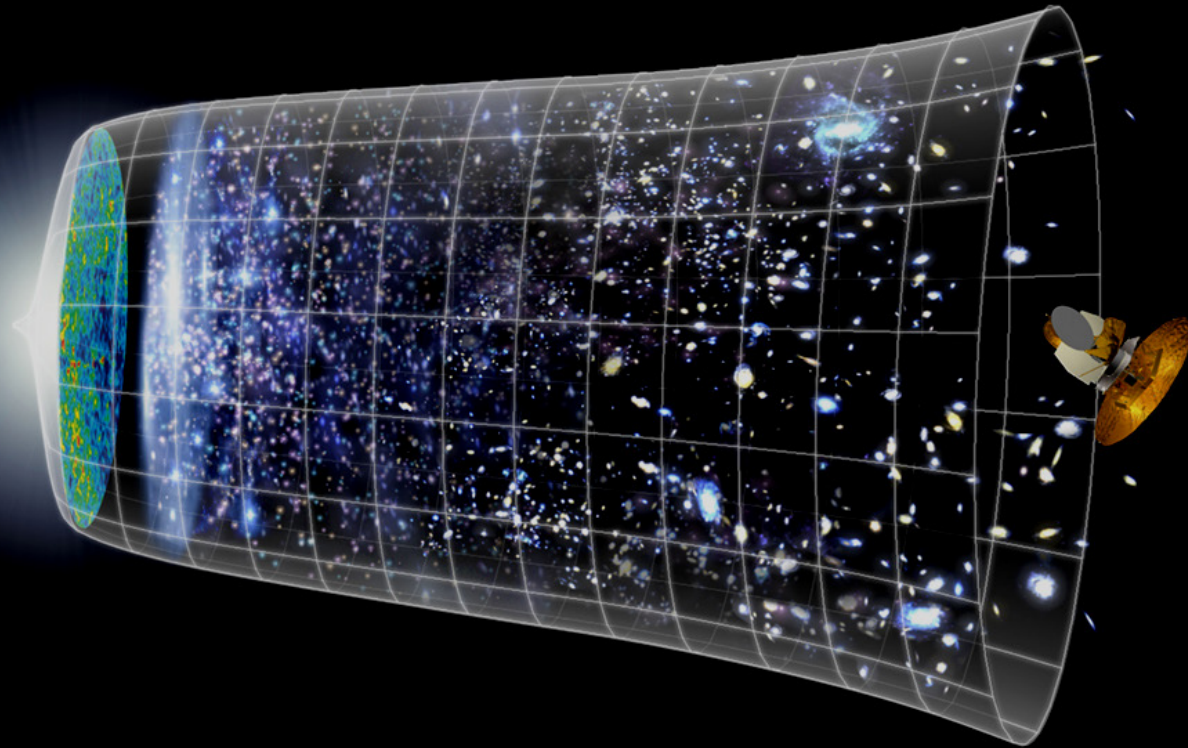
- Heelal dijt versneld uit !
- “Anti-zwaartekracht” → “Donkere energie” → Vacuum energie
- Historisch: **Einstein**’s kosmologische constante





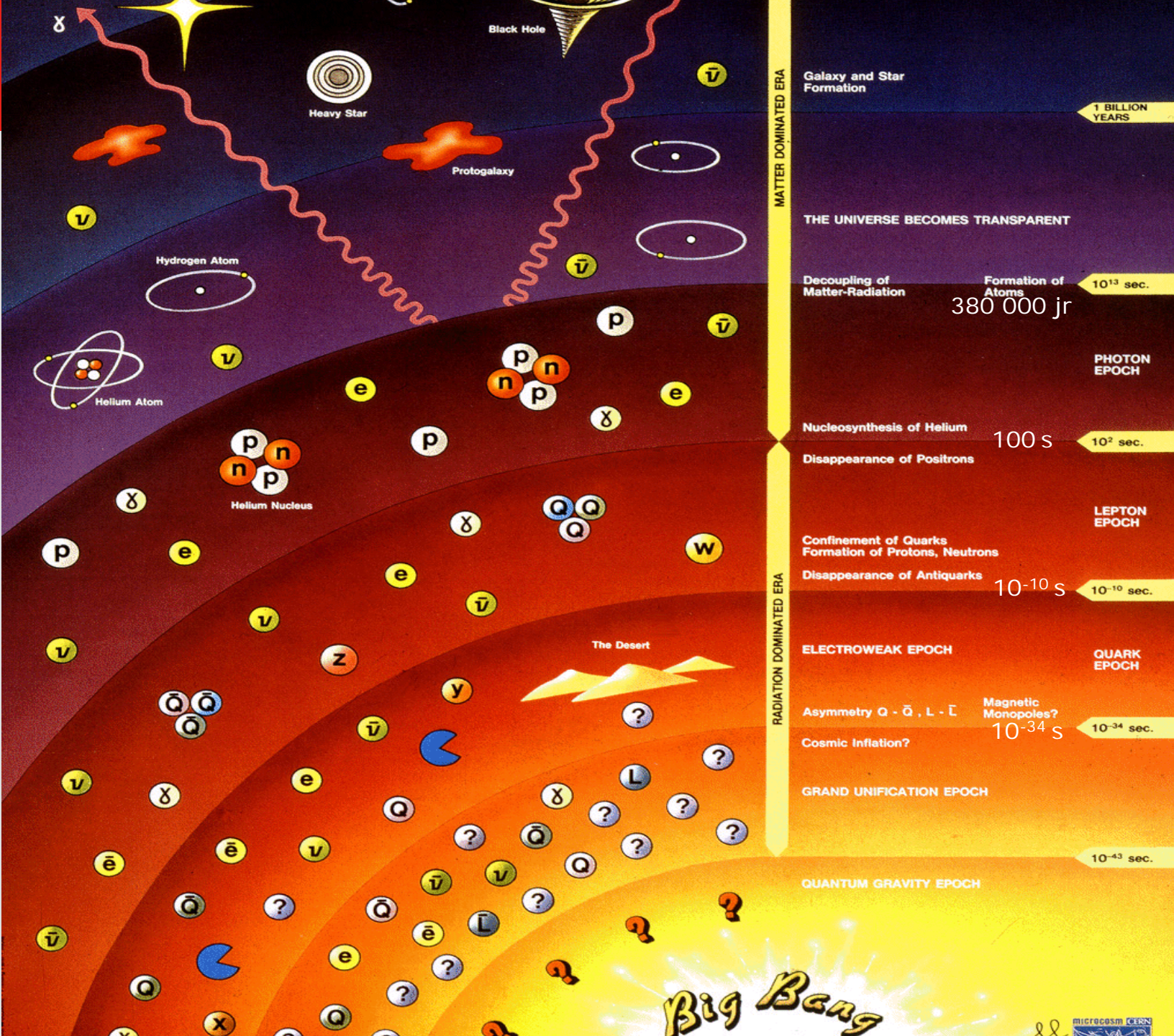
Wat als we “de film terugdraaien” ... ?!

Hoe ging de Knal ?!



tijd





MATTER DOMINATED ERA

RADIATION DOMINATED ERA

Galaxy and Star Formation

1 BILLION YEARS

THE UNIVERSE BECOMES TRANSPARENT

Decoupling of Matter-Radiation

Formation of Atoms
380 000 jr

10¹³ sec.

PHOTON EPOCH

Nucleosynthesis of Helium

100 s

10² sec.

Disappearance of Positrons

Confinement of Quarks
Formation of Protons, Neutrons

Disappearance of Antiquarks

10⁻¹⁰ s

10⁻¹⁰ sec.

LEPTON EPOCH

ELECTROWEAK EPOCH

QUARK EPOCH

Asymmetry $Q - \bar{Q}, L - \bar{L}$

Magnetic Monopoles?
10⁻³⁴ s

10⁻³⁴ sec.

Cosmic Inflation?

GRAND UNIFICATION EPOCH

10⁻⁴³ sec.

QUANTUM GRAVITY EPOCH

kosmische
achtergrond
straling

Helium

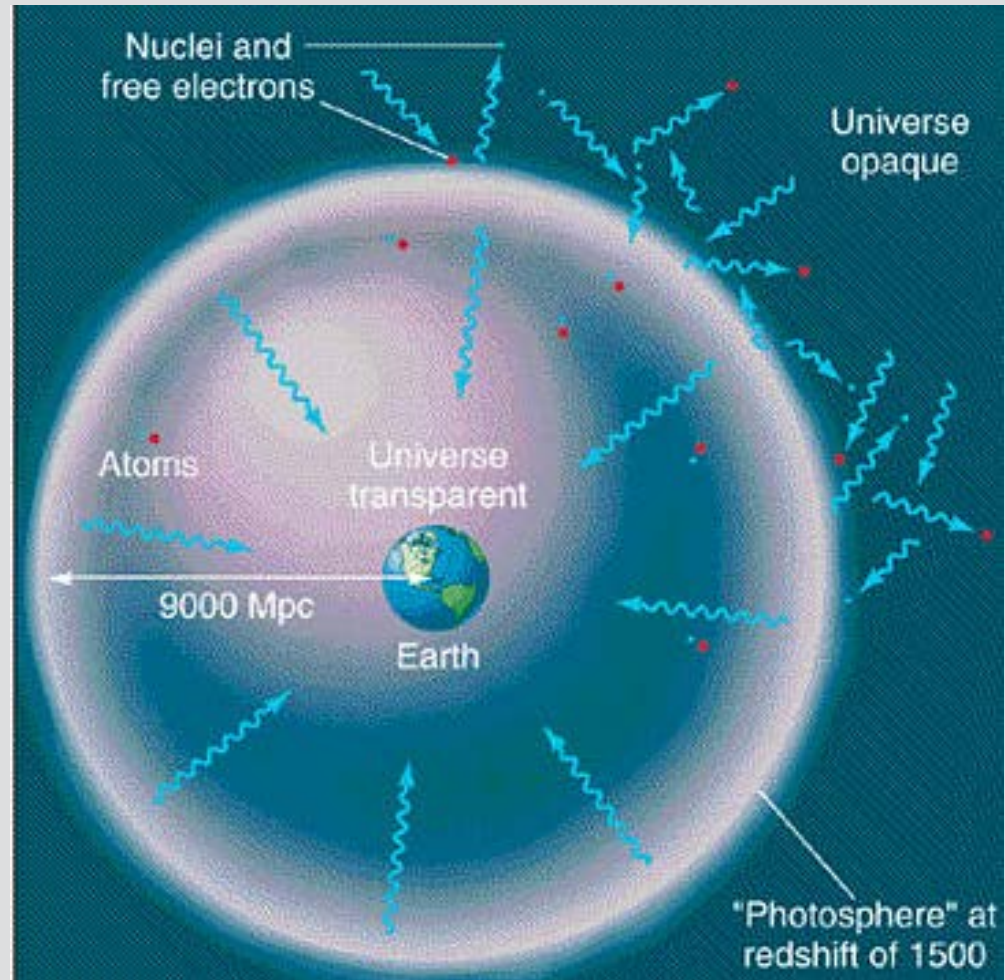
anti-materie

inflatie

Big Bang

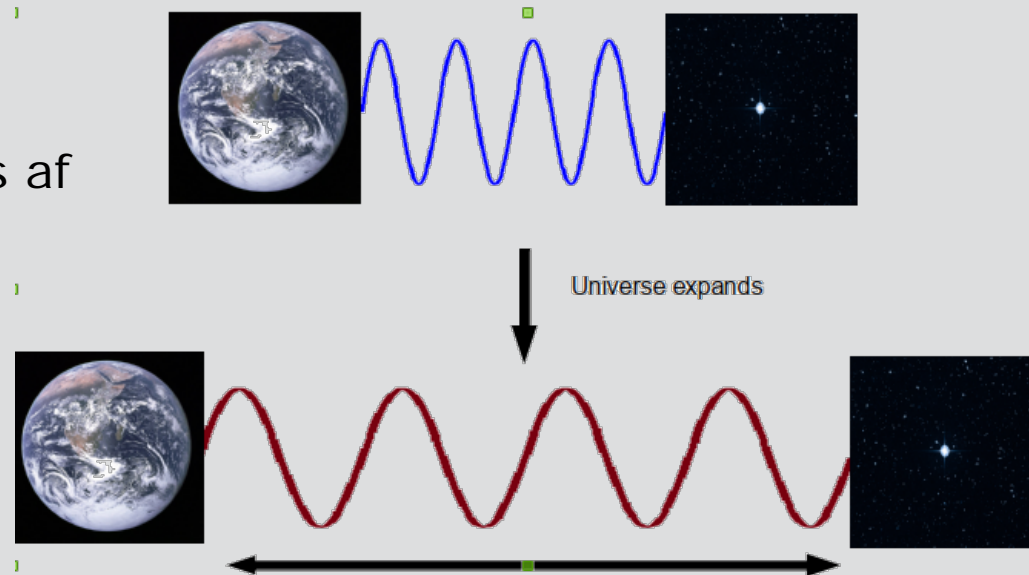
“Kosmische Achtergrond Straling”

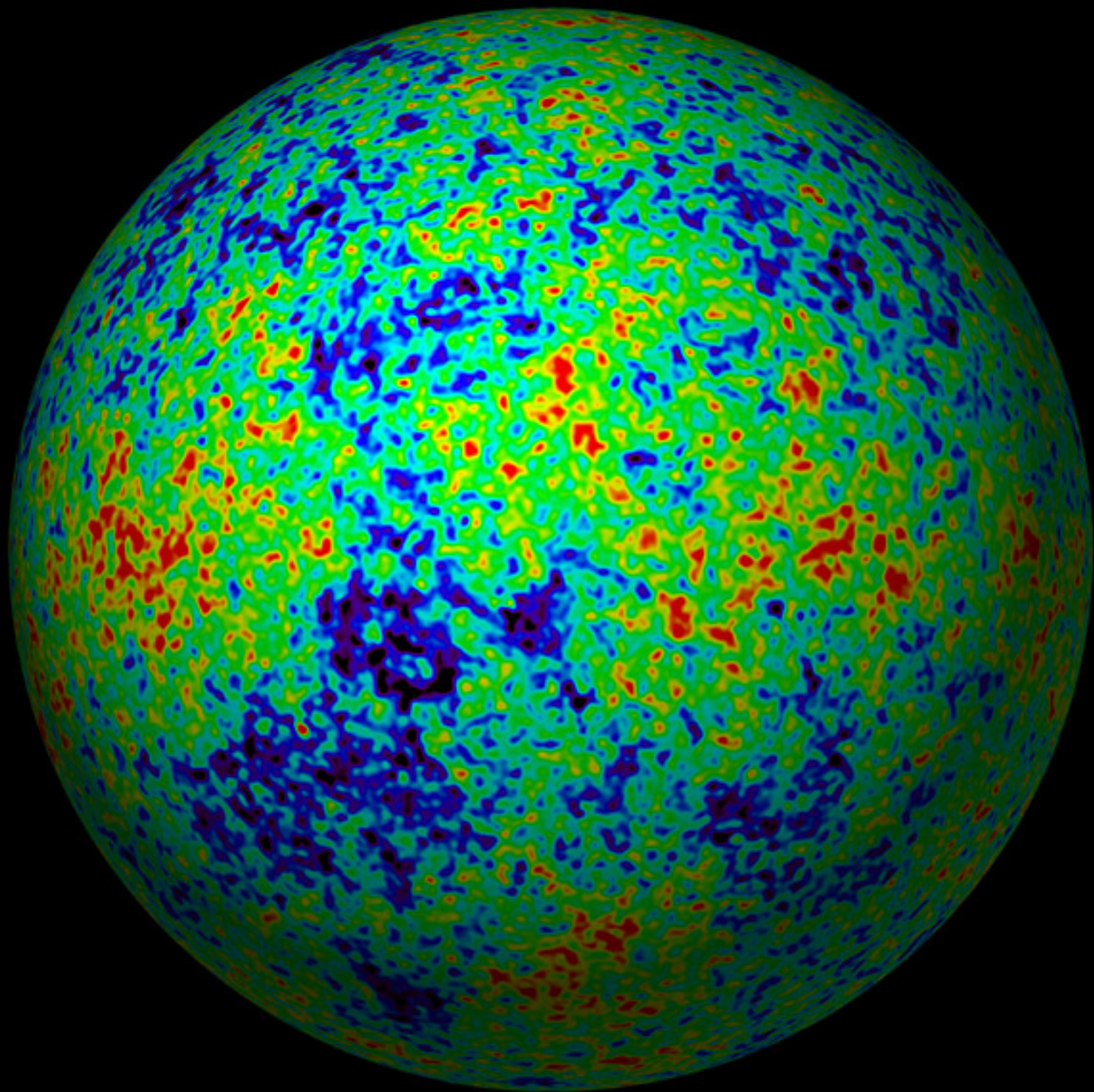
- Na 380 000 jaar:
heelal werd doorzichtig!



“Kosmische Achtergrond Straling”

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





Big Bang

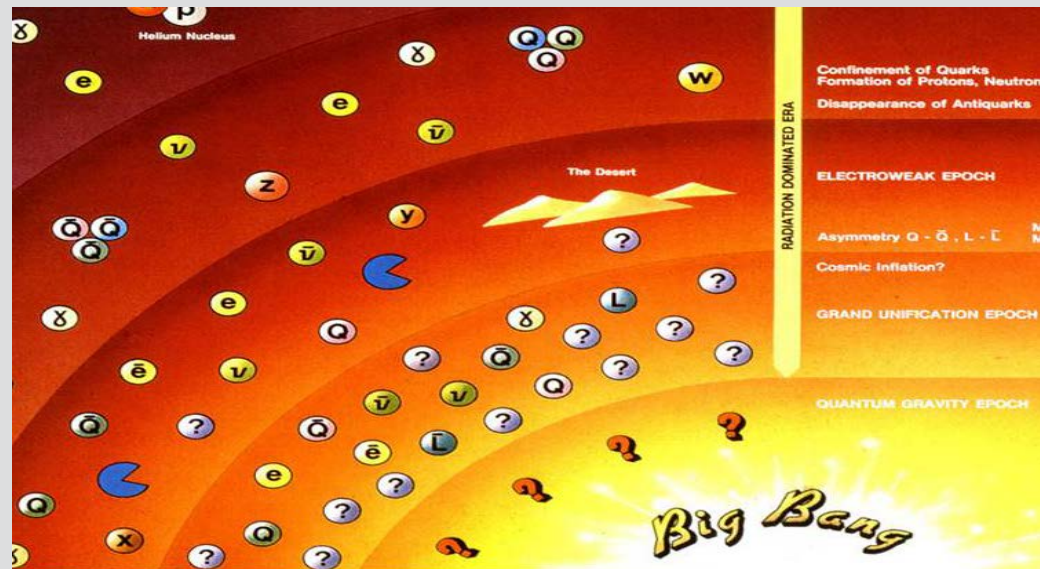
- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

Big Bang: OK

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

Maar:

- Waar is alle anti-materie gebleven !?

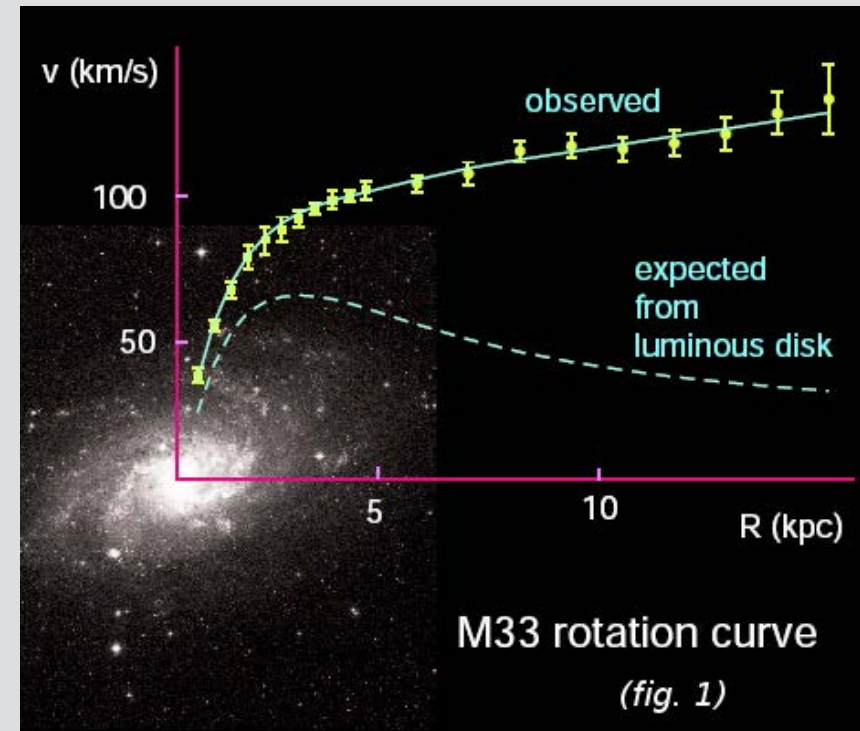


Big Bang: OK

- Hoeveelheid helium en waterstof
- Uitdijing
- Kosmische achtergrond straling

Maar:

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



Wat weten we wel

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



Wat weten we niet

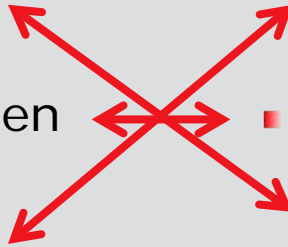
- Wat gaf de knal?
- Waar is de anti-materie?
- Wat is de donkere materie?

Wat weten we wel

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

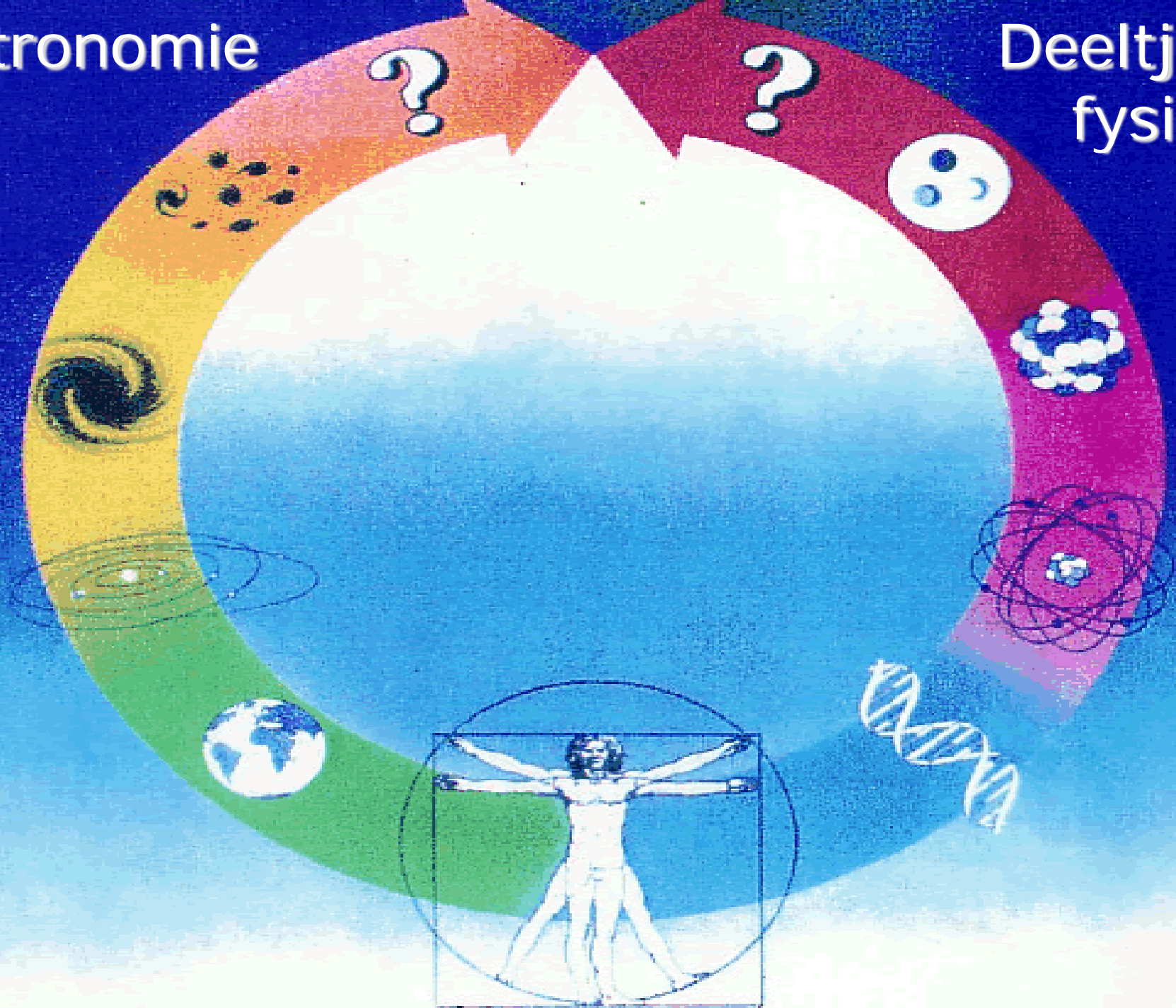
Wat weten we niet

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



Astronomie

Deeltjes
fysica



Kairo is synoniem met seksueel geweld

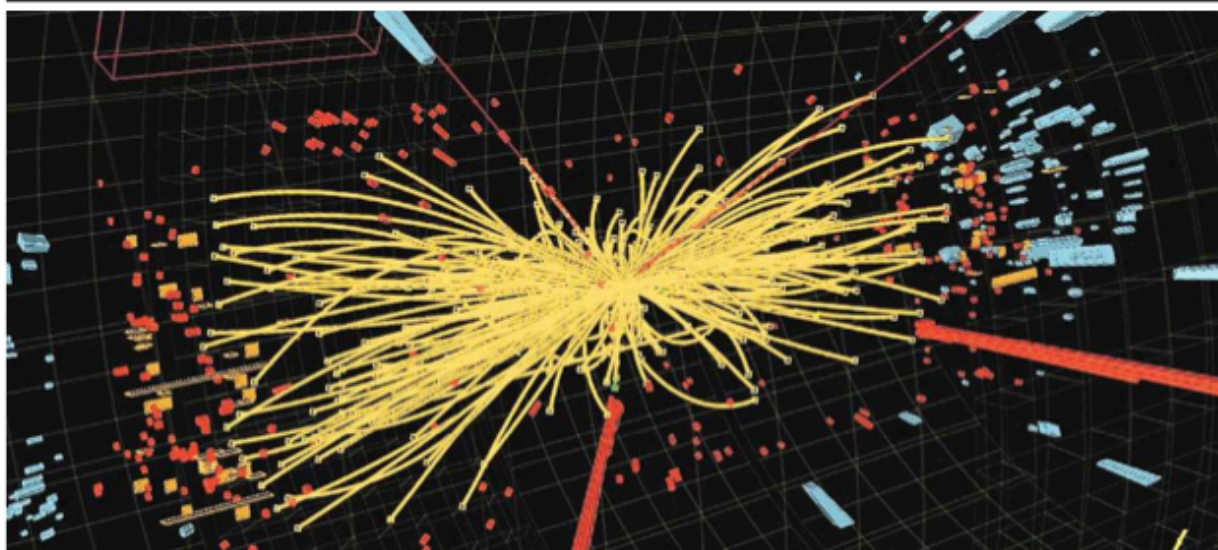
buitenland 10

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 applaudisseren 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.

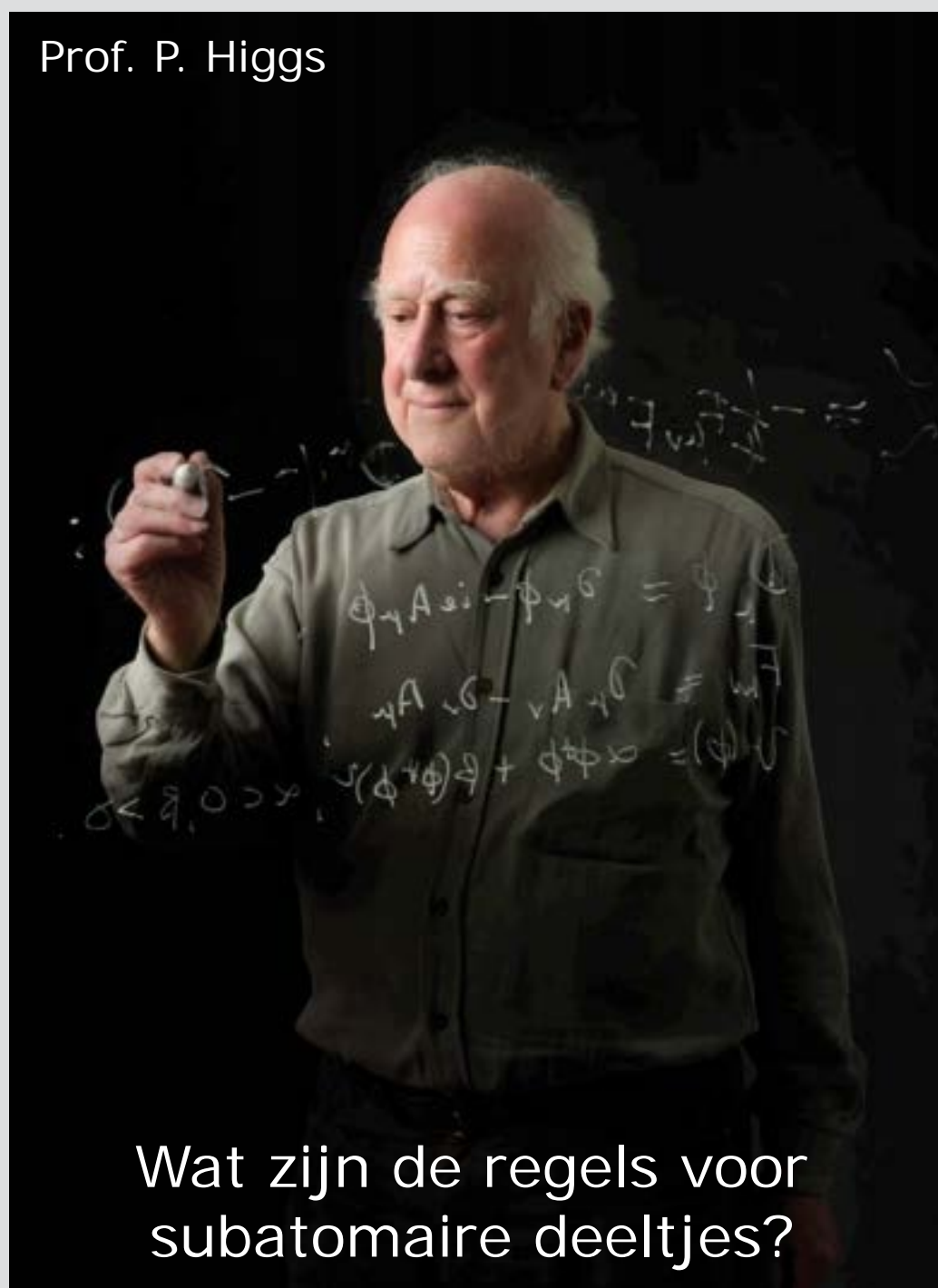
„Nu moeten we onderzoeken of het ook de Higgs is“, zegt Bentvelsen. Daar lijkt het wel op. „Al vervalt het wel iets vaker in twee fotonen dan je zou verwachten.“

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.

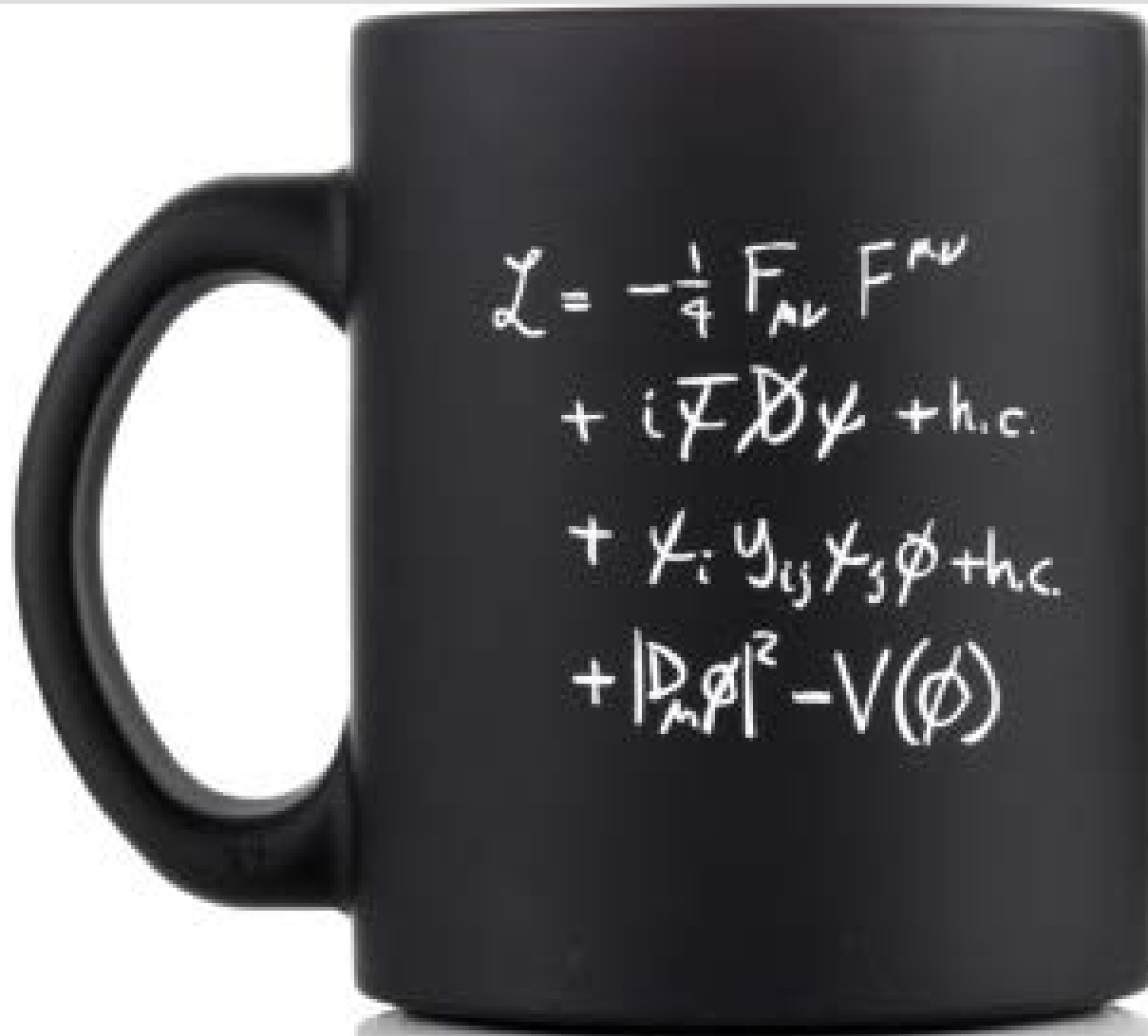
Hoe de Higgs het *verschil* maakt

- 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 ψ

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

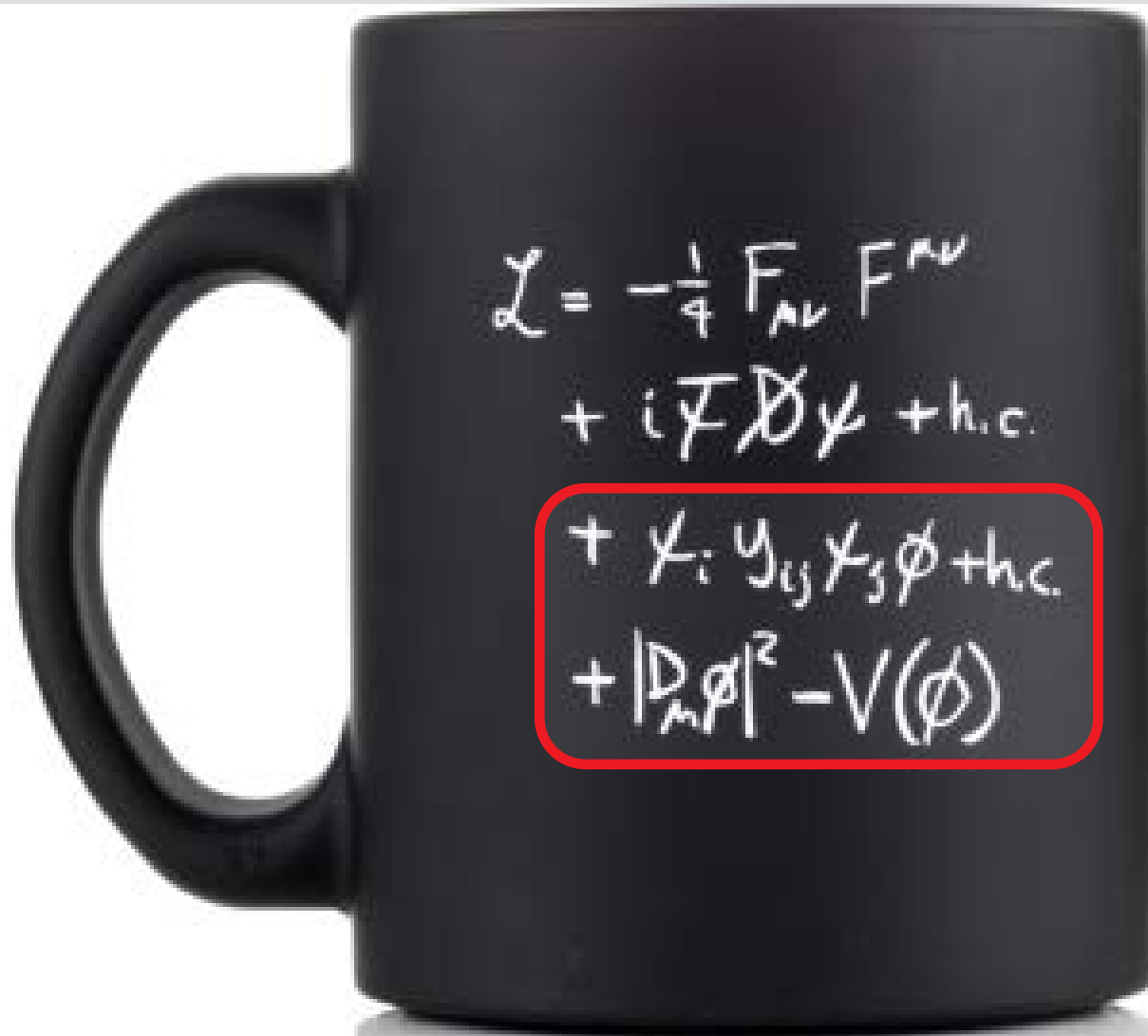
Interacties D

(hoe de deeltjes elkaar
"voelen")

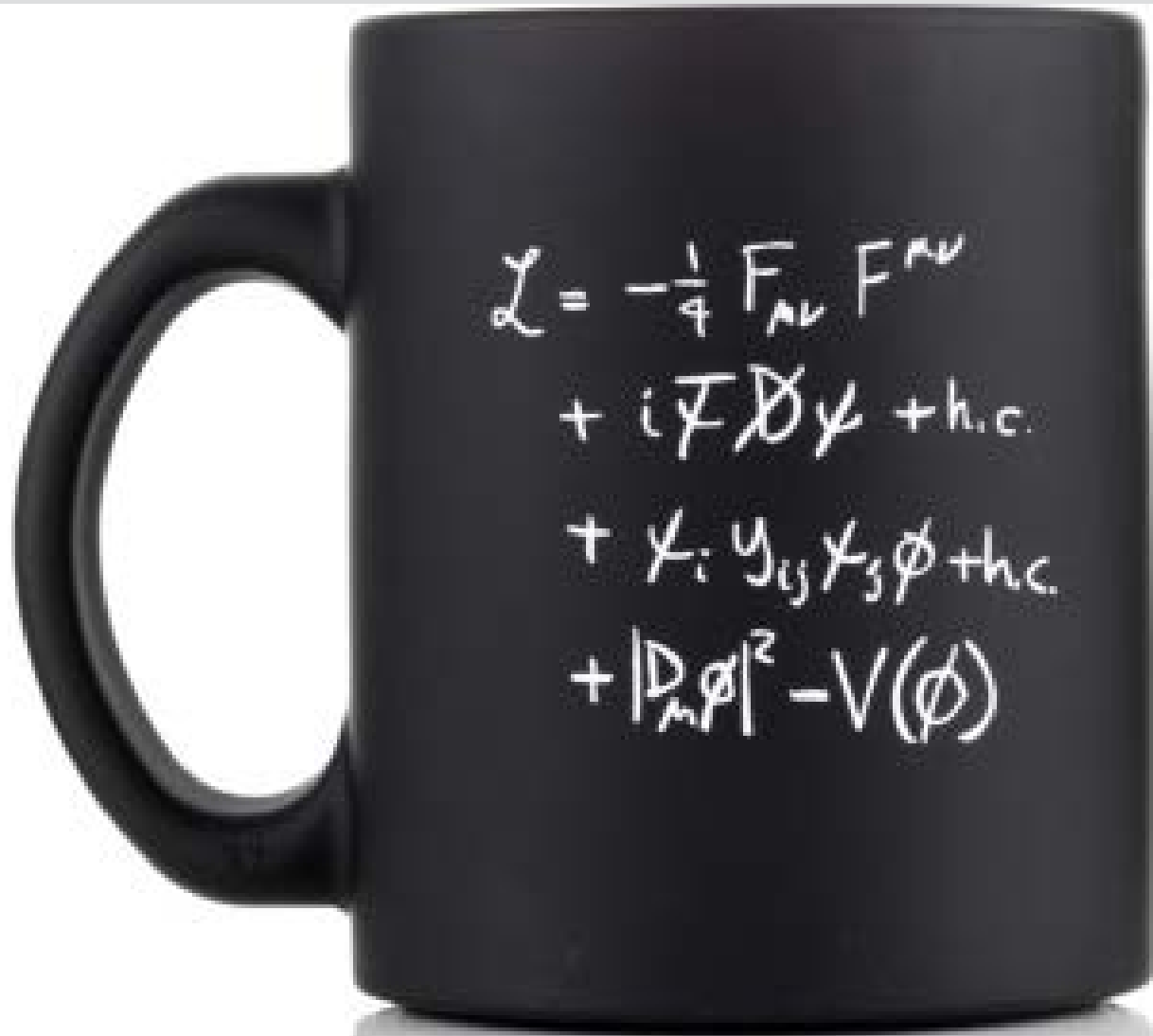
$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i \bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \bar{\psi}_i Y_{ij} \psi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_{\mu} \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

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

ϕ **Higgs**



➤ Helft van de mok gaat over Higgs!

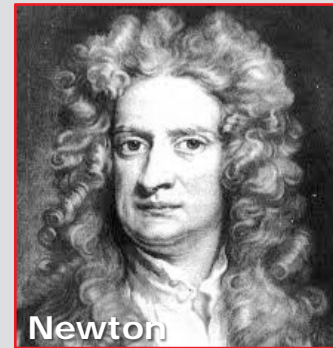


Te koop in de CERN winkel

Massa?

$$F = m \times a$$

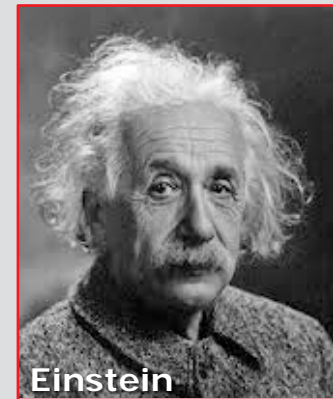
- Massa is “wisselkoers” tussen kracht en versnelling
Maar... wat *is* het?



Newton

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

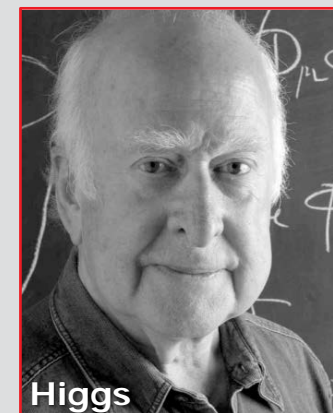
- Massa is energie
Maar... waar komt het *vandaan*?



Einstein

- Massa is wrijving met Higgs veld!

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



Higgs

*"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?

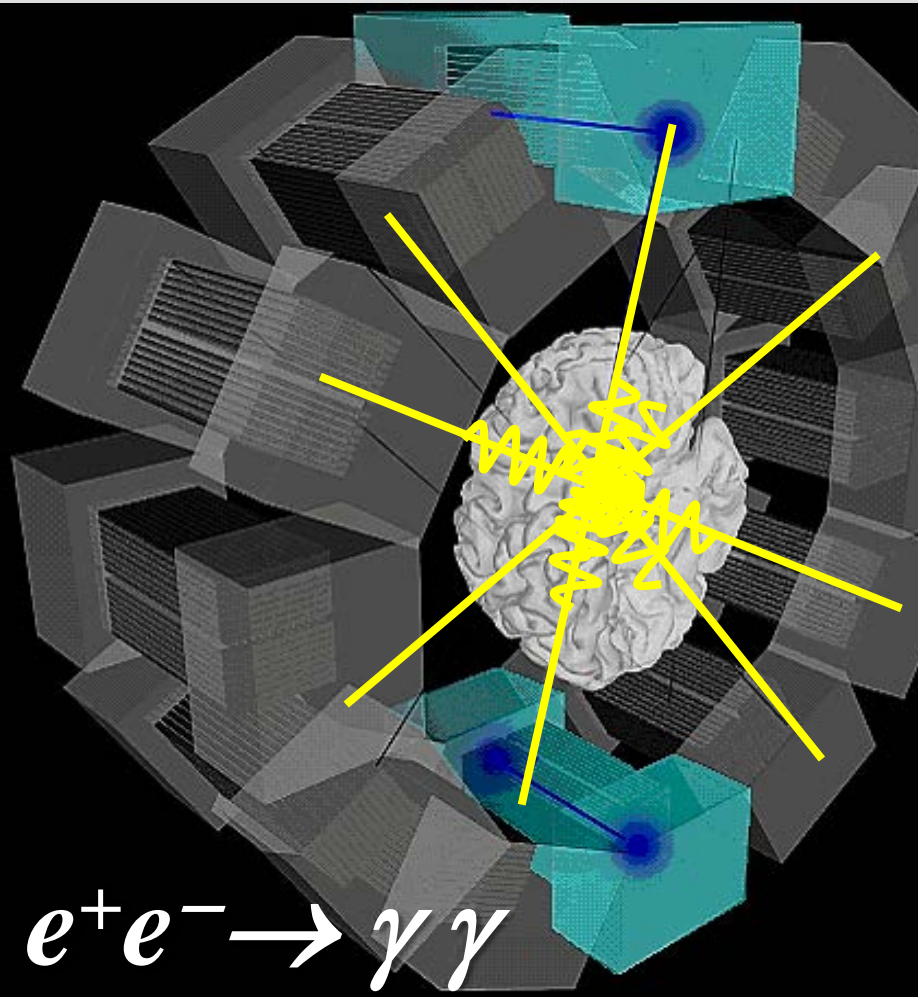


Anti-materie?

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

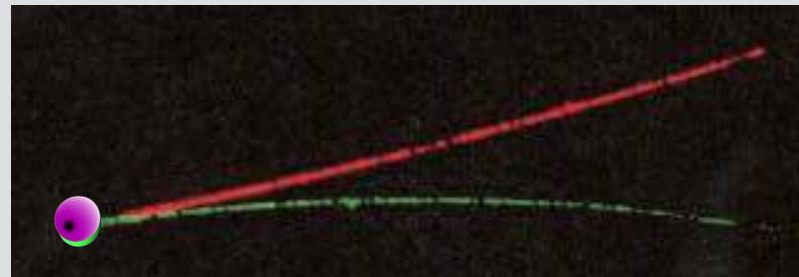
Anti-materie?

- 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:



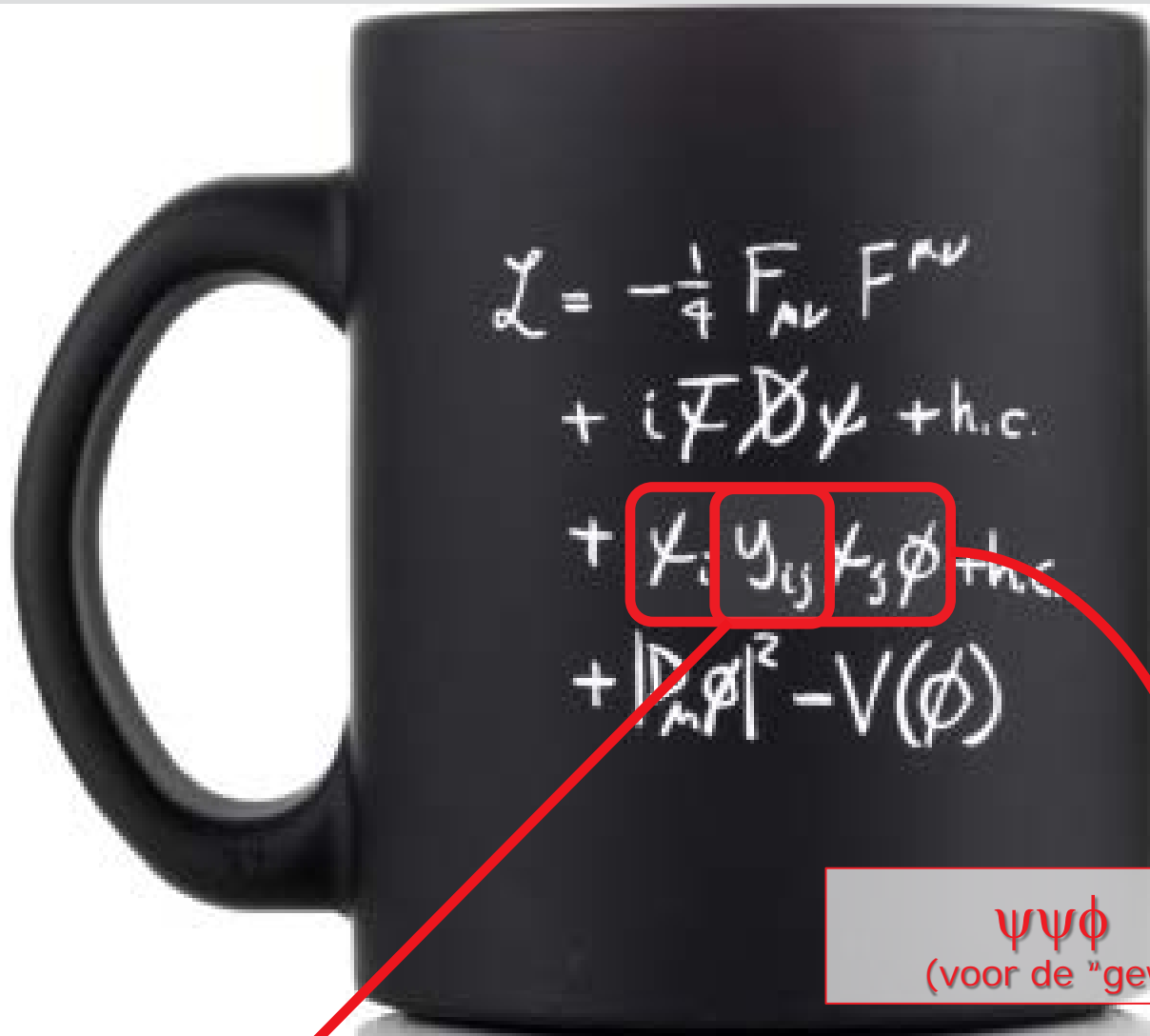
Waar is de anti-materie gebleven?



Hoe de Higgs het *verschil* maakt



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



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

$Y_{ij}\bar{\psi}_i\psi_j\phi + h.c.$

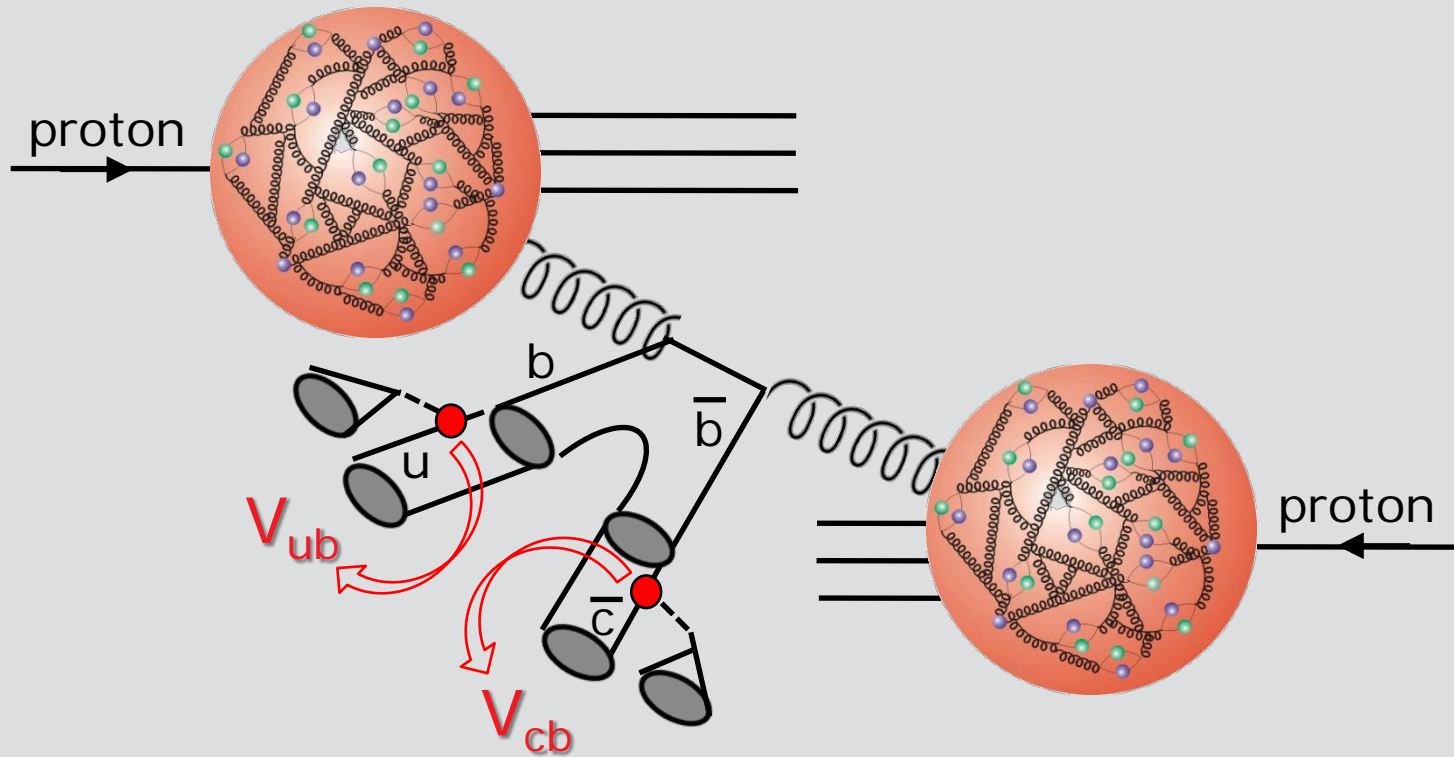
$\psi\psi\phi$ **Massa**
(voor de "gewone" deeltjes)

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

Hoe de Higgs het *verschil* maakt



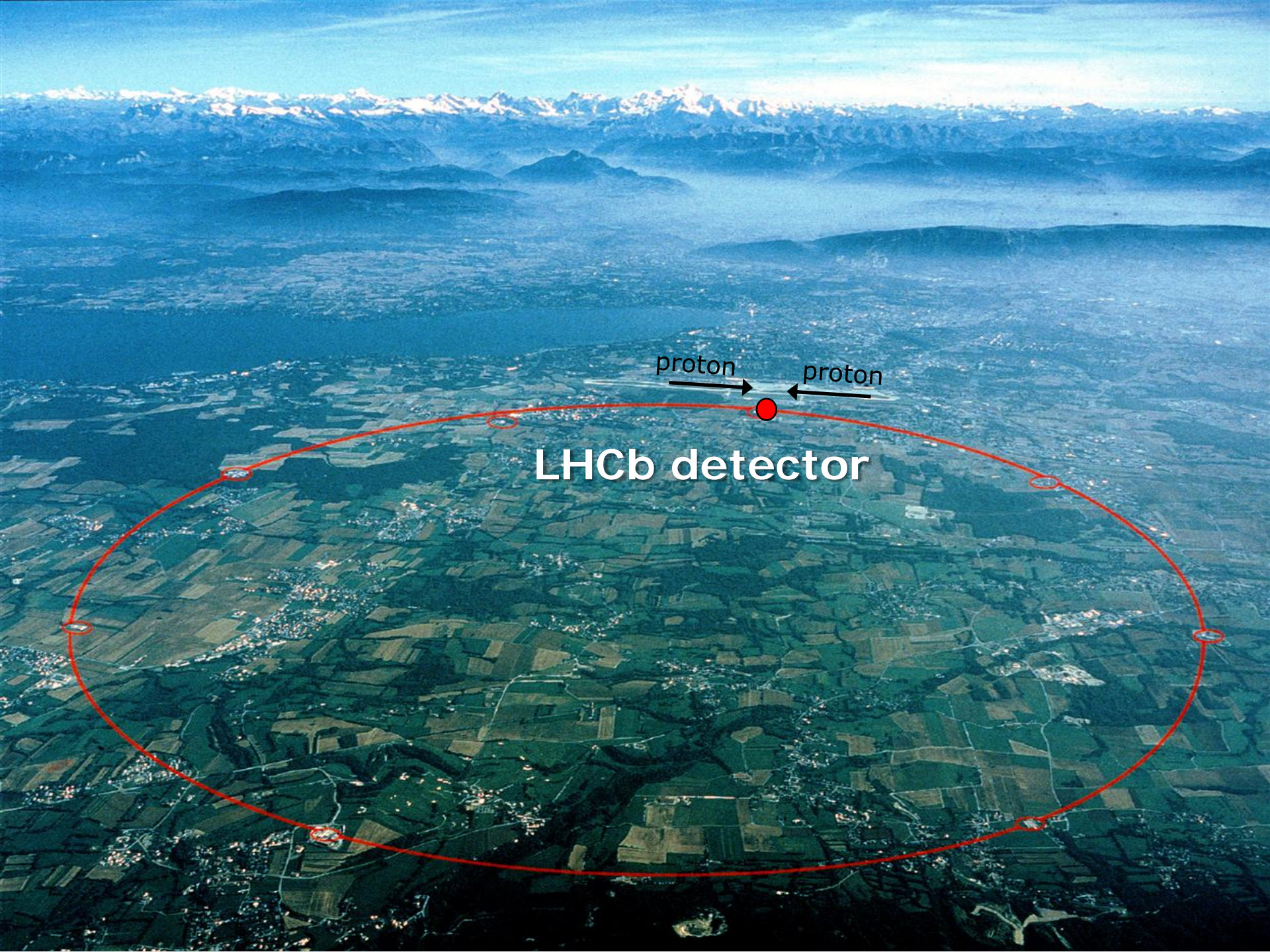
- Hoe onderzoeken wij dit verschil?



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

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

Verschil tussen materie en anti-materie



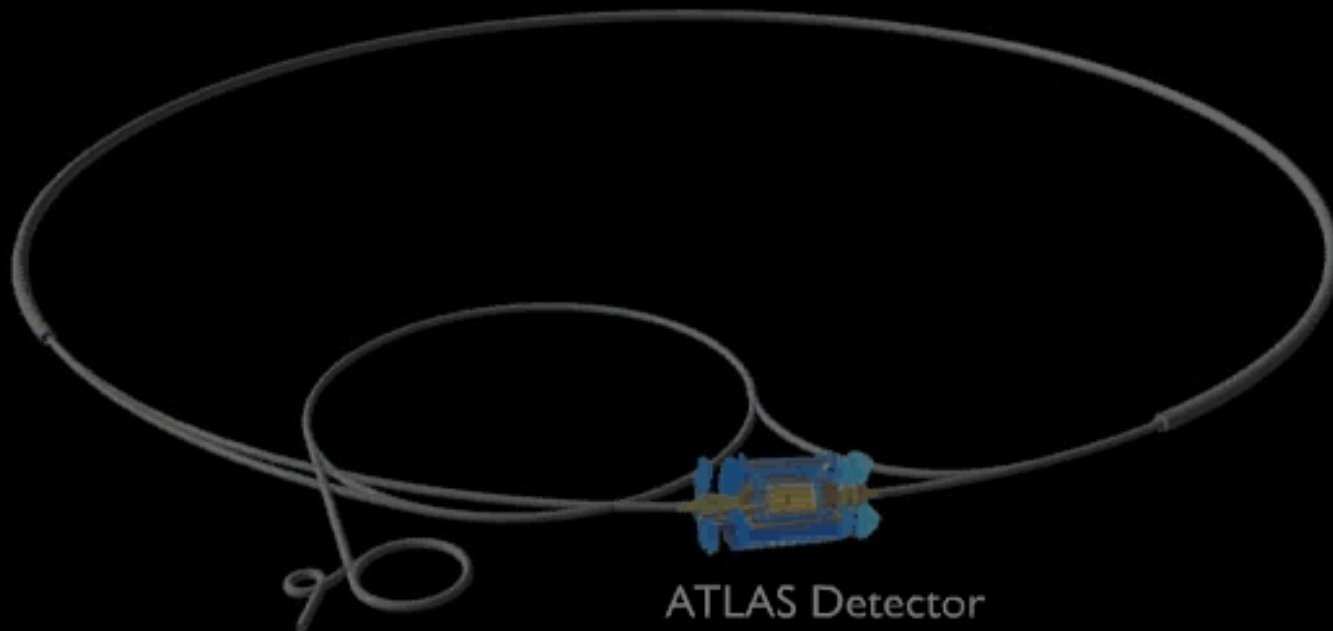
proton

proton

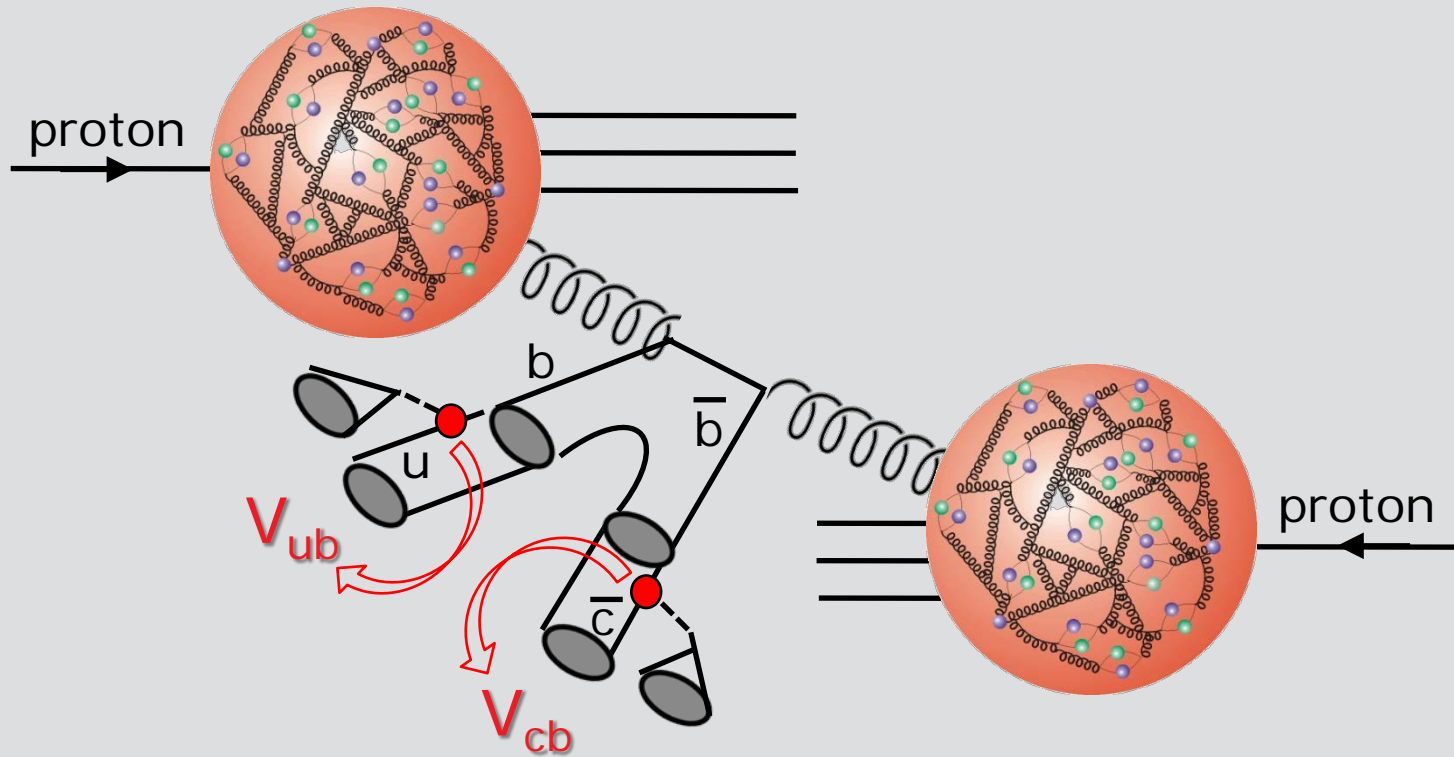
LHCb detector

PLAY ▶

Large Hadron Collider



ATLAS Detector



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

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

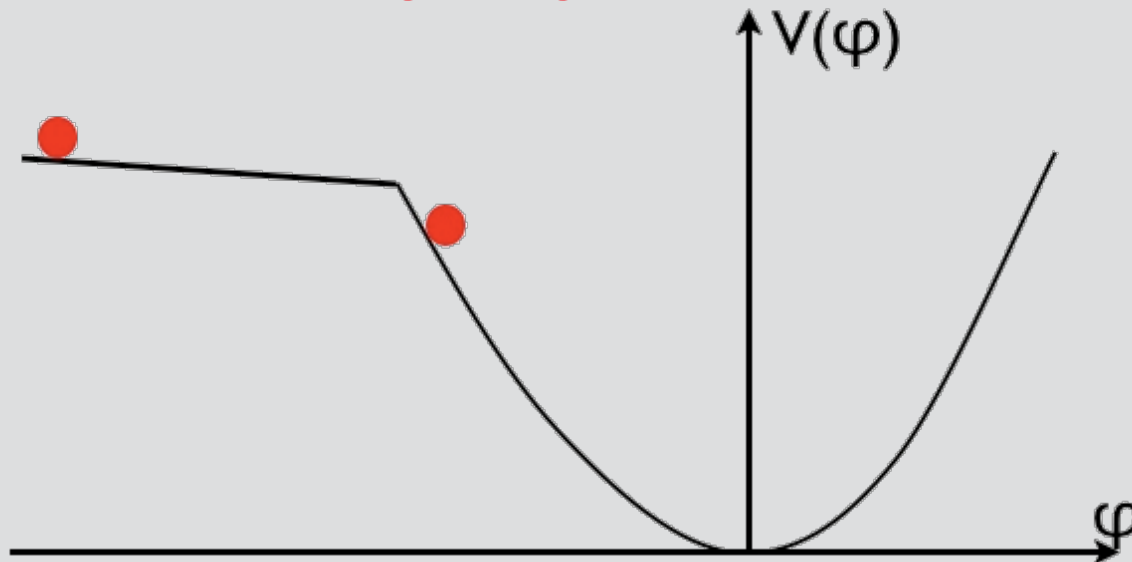


Higgs: Het Begin?

Higgs: Het Begin?

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

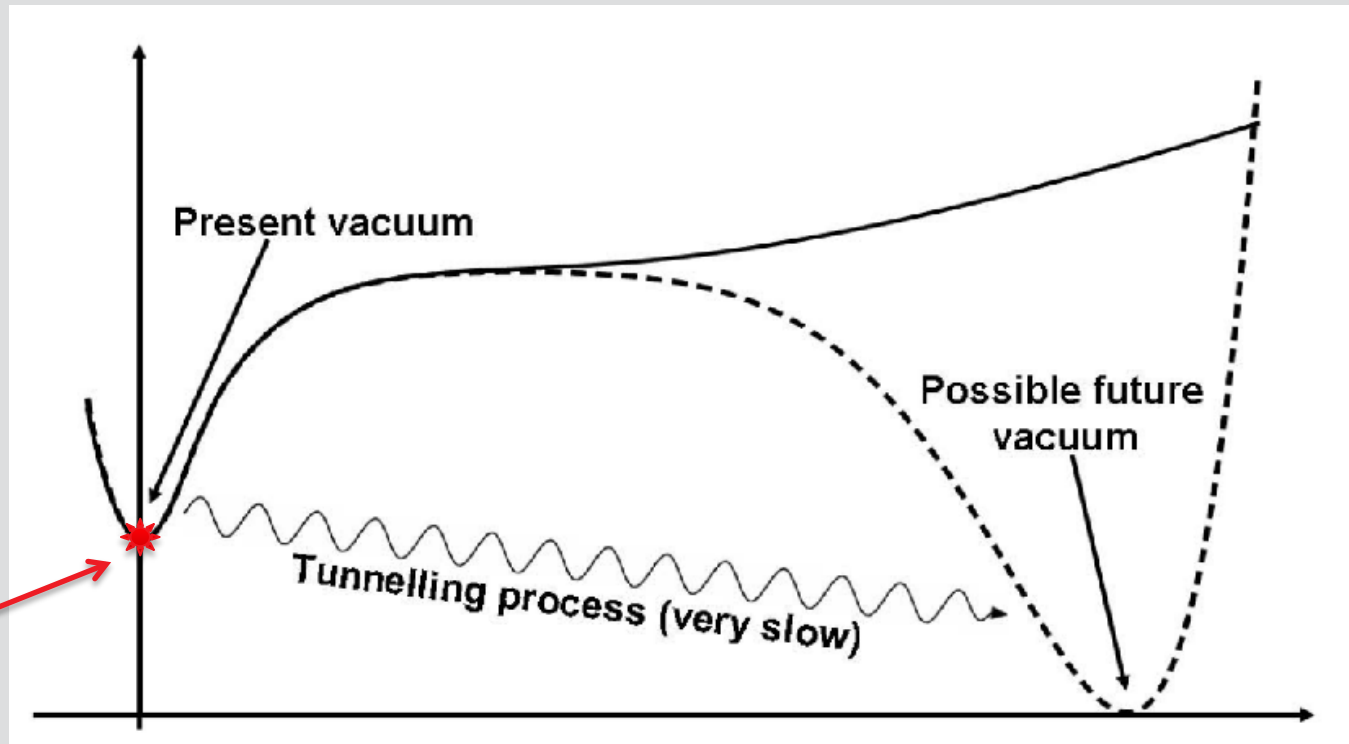
Het *inflaton* dat de het heelal opblies tussen 10^{-33} en 10^{-32} seconde na de Big Bang





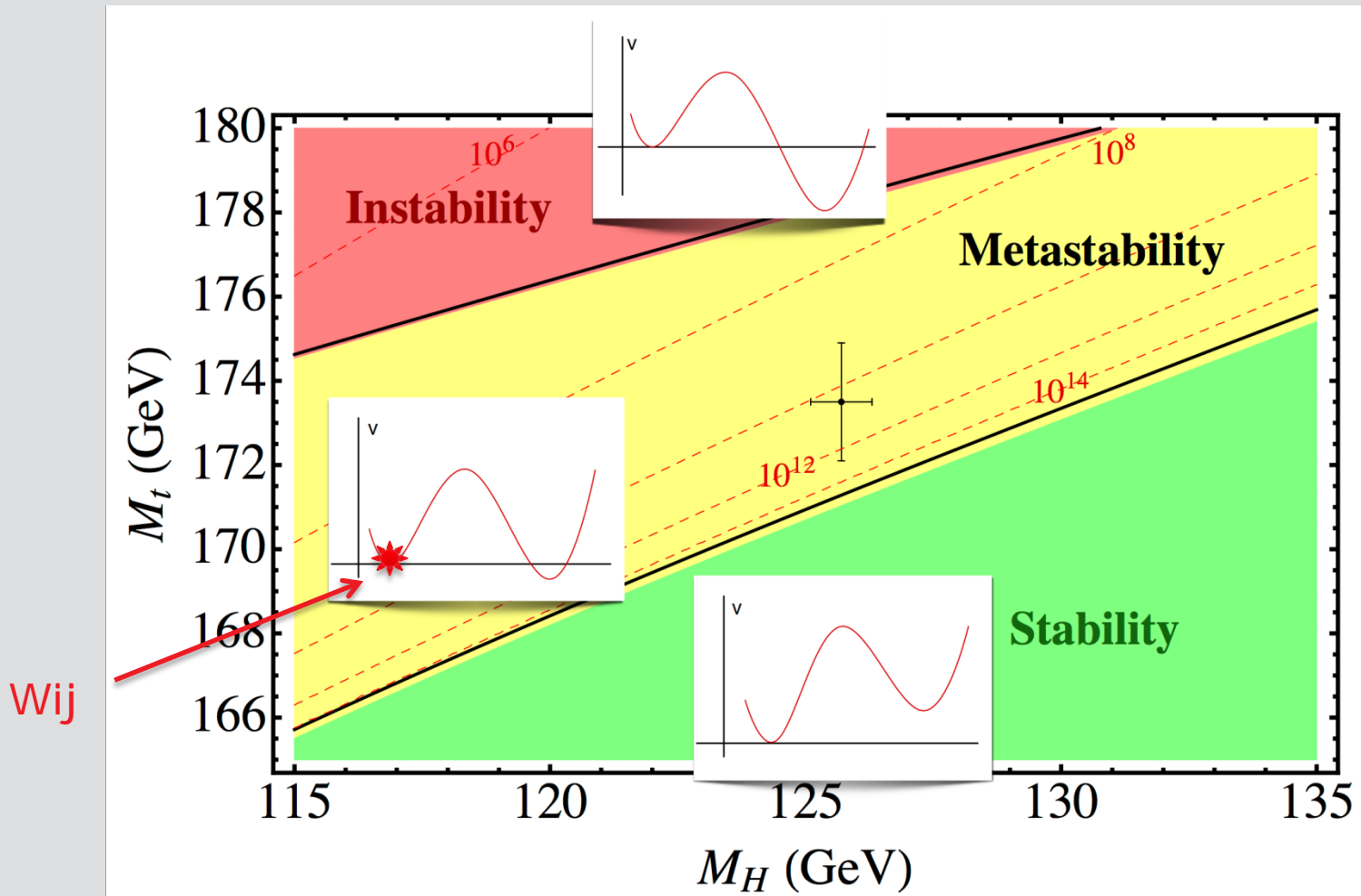
Higgs: Het Einde?

Higgs: Het Einde?



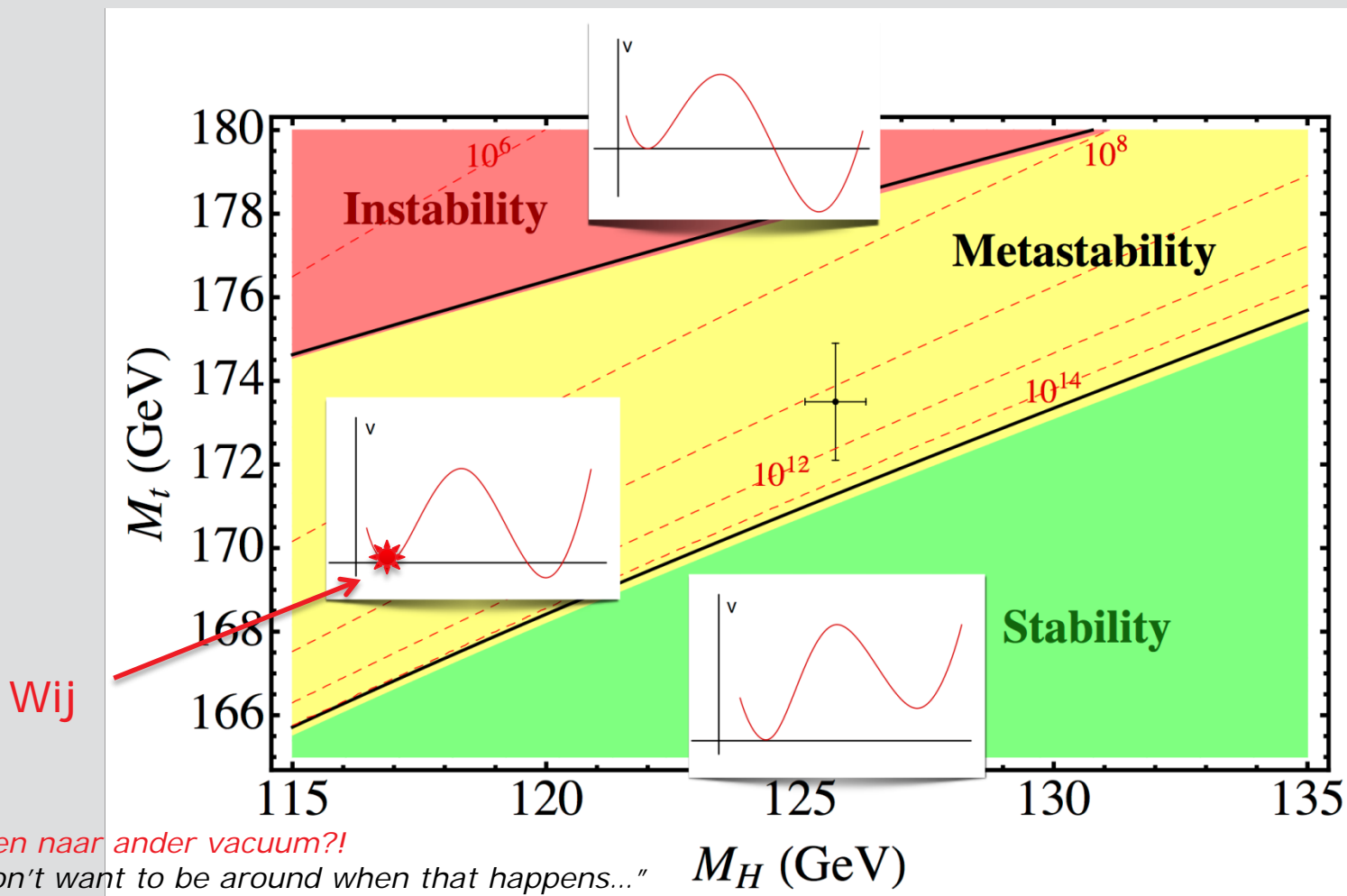
Wij

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

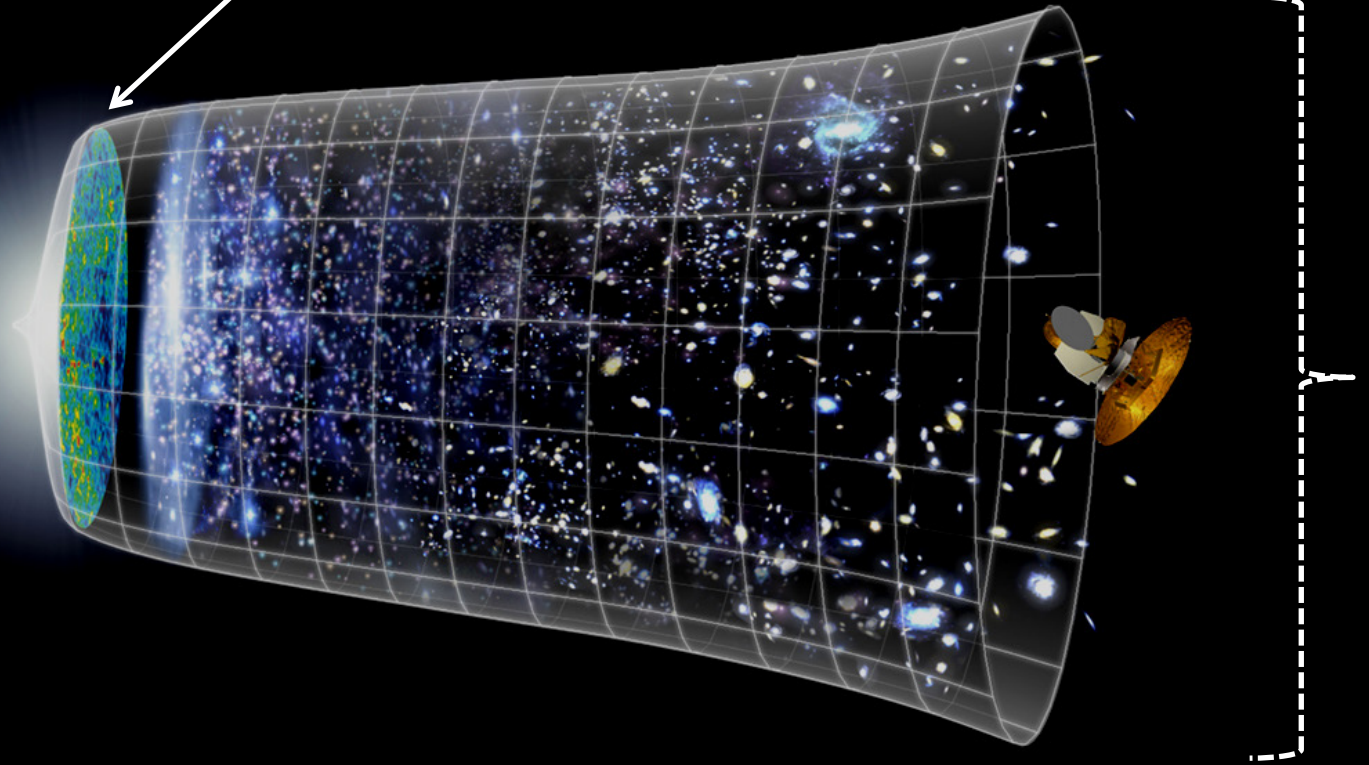
- Higgs onmisbaar om alle deeltjes te begrijpen
- Higgs is gelinkt aan de verdwenen anti-materie
- Higgs lijkt op inflaton: Begin
- Higgs massa suggereert instabiel heelal: Einde?

Higgs?

Inflatie?

Anti-materie
verschil?

Instabiel vacuum?



tijd





Bedankt voor uw aandacht!