

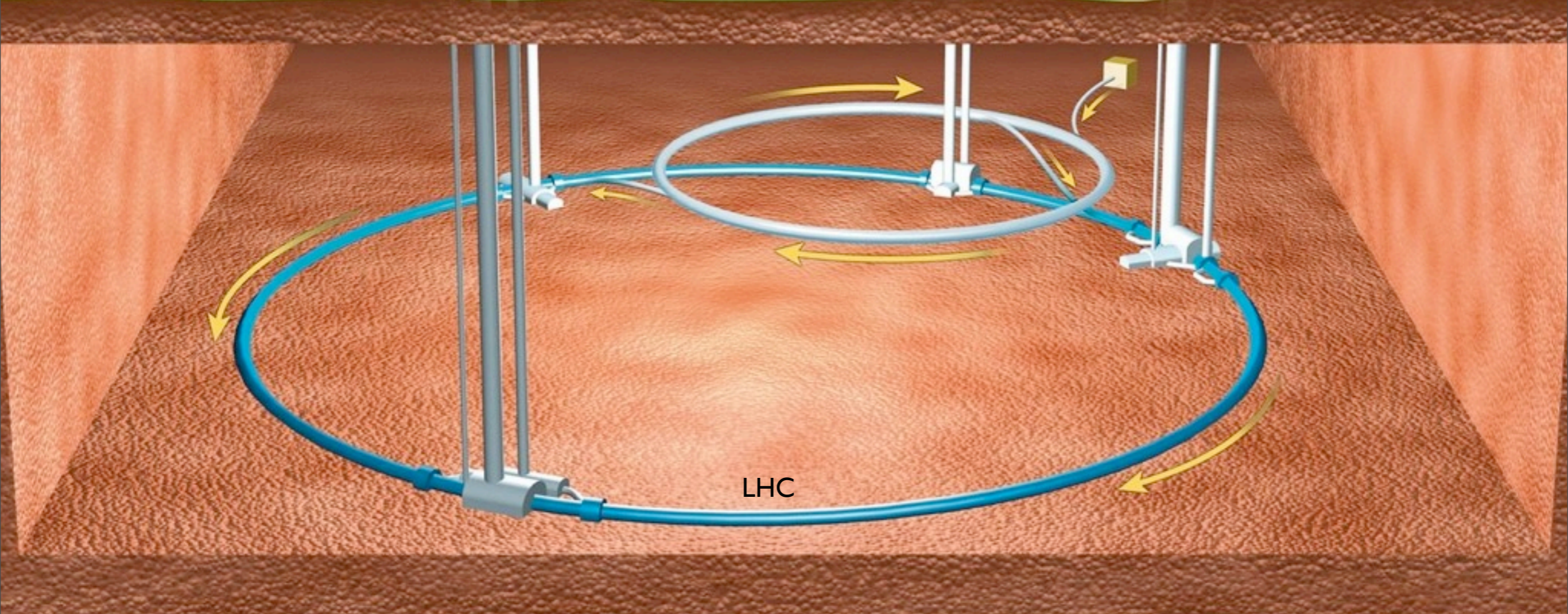
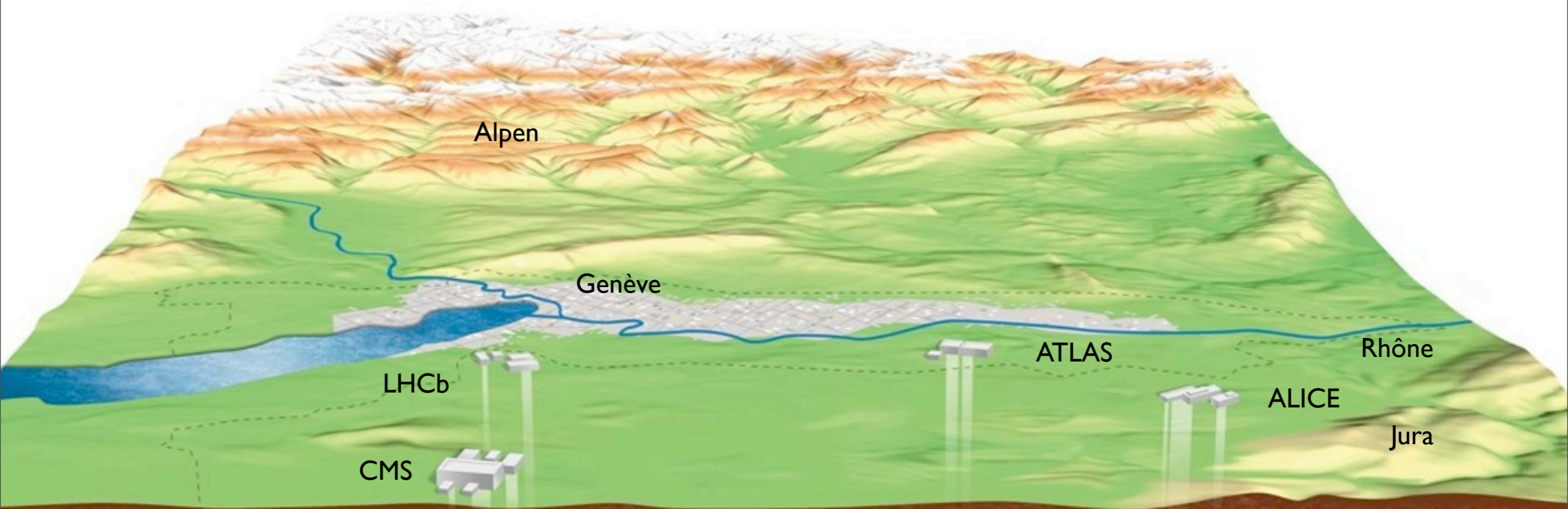
OP ZOEK NAAR HET HIGGS-DEELTJE



Bernard de Wit

Nikhef Amsterdam
Universiteit Utrecht

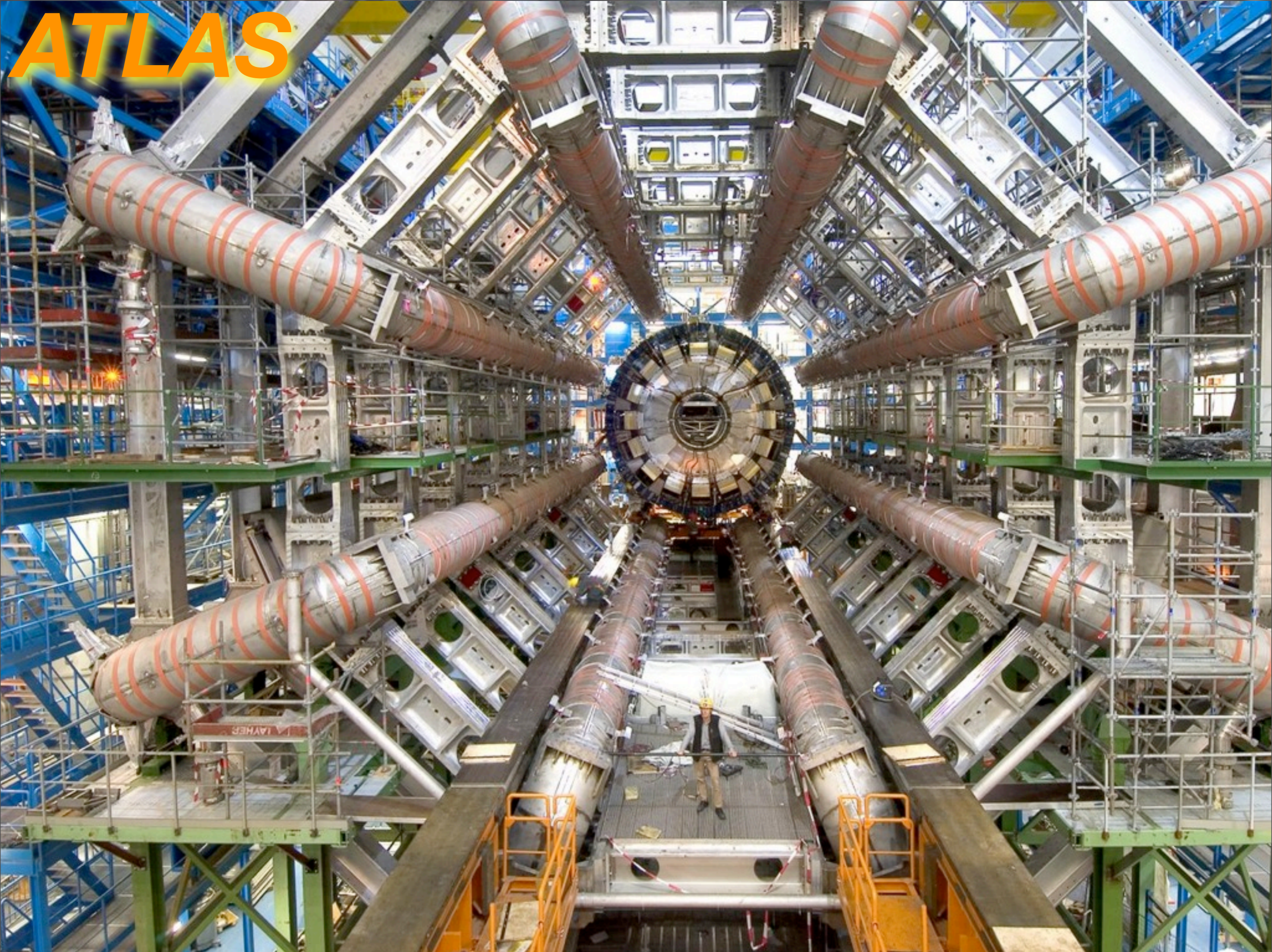
Dolderse Wetenschappers - 9 november 2012



De LHC versnellertunnel



ATLAS



Friday 9 November 2012

CERN (1954)

2500 staf

8000 gebruikers

580 universiteiten

85 landen



Member States (Dates of Accession)

 AUSTRIA (1959)	 DENMARK (1953)	 GREECE (1953)	 NORWAY (1953)	 SPAIN (1/1961-12/1968-1/1983)
 BELGIUM (1953)	 FINLAND (1991)	 HUNGARY (1992)	 POLAND (1991)	 SWEDEN (1953)
 BULGARIA (1999)	 FRANCE (1953)	 ITALY (1953)	 PORTUGAL (1986)	 SWITZERLAND (1953)
 CZECH FR (1993)	 GERMANY (1953)	 NETHERLANDS (1953)	 SLOVAK FR (1993)	 UNITED KINGDOM (1953)

Internationale samenwerking



16 December 1994: The CERN Council approves the construction of the LHC. To achieve the project without enlarging CERN's budget, it is decided to build the accelerator in two stages. At that moment the necessary technology was not yet fully established.



June 1995: Japan becomes an Observer of CERN and announces a financial contribution to the LHC. Japan makes two other major financial contributions to the LHC project in 1996 and 1998.

The Japanese Minister for Education, Sciences and Culture offers a Daruma doll to CERN's Director-General. According to Japanese tradition, an eye is painted on the doll to mark the beginning of the LHC project and the second eye must be drawn at the time of its completion.



April 1999: The first magnets for the transfer lines of the LHC arrive from Russia. Composed of 540 magnets, the transfer lines will transport beams from the Super Proton Synchrotron (SPS) accelerator to the LH



February 2000: The first LHC elements, financed by the special contribution of the United States, cross the Atlantic and are delivered to CERN.

Vragen?

Wat doen wetenschappers daar?

Is het belangrijk voor het dagelijks leven?

Wat zijn elementaire deeltjes?

Waarom zulke grote apparaten om zulke kleine deeltjes te onderzoeken?

Is het gevaarlijk?

Is de wereld der elementaire deeltjes anders dan de wereld die wij kennen?

Elementaire deeltjes

HOE KLEIN IS KLEIN?

Hoe klein is klein?

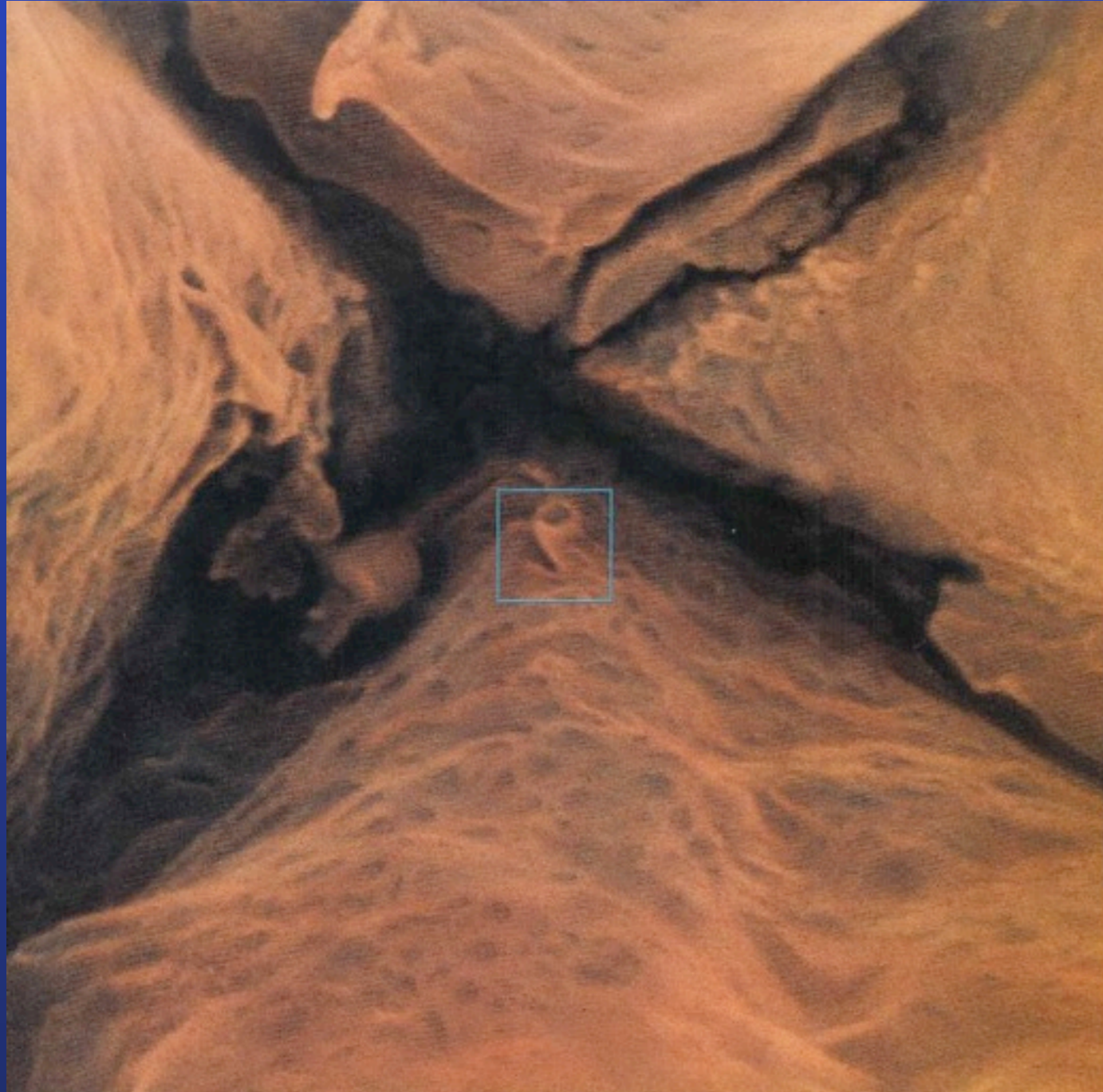


hand:

0.1 meter

Kees Boeke: *Wij in het heelal, een heelal in ons* (1957)

Hoe klein is klein?



hand:

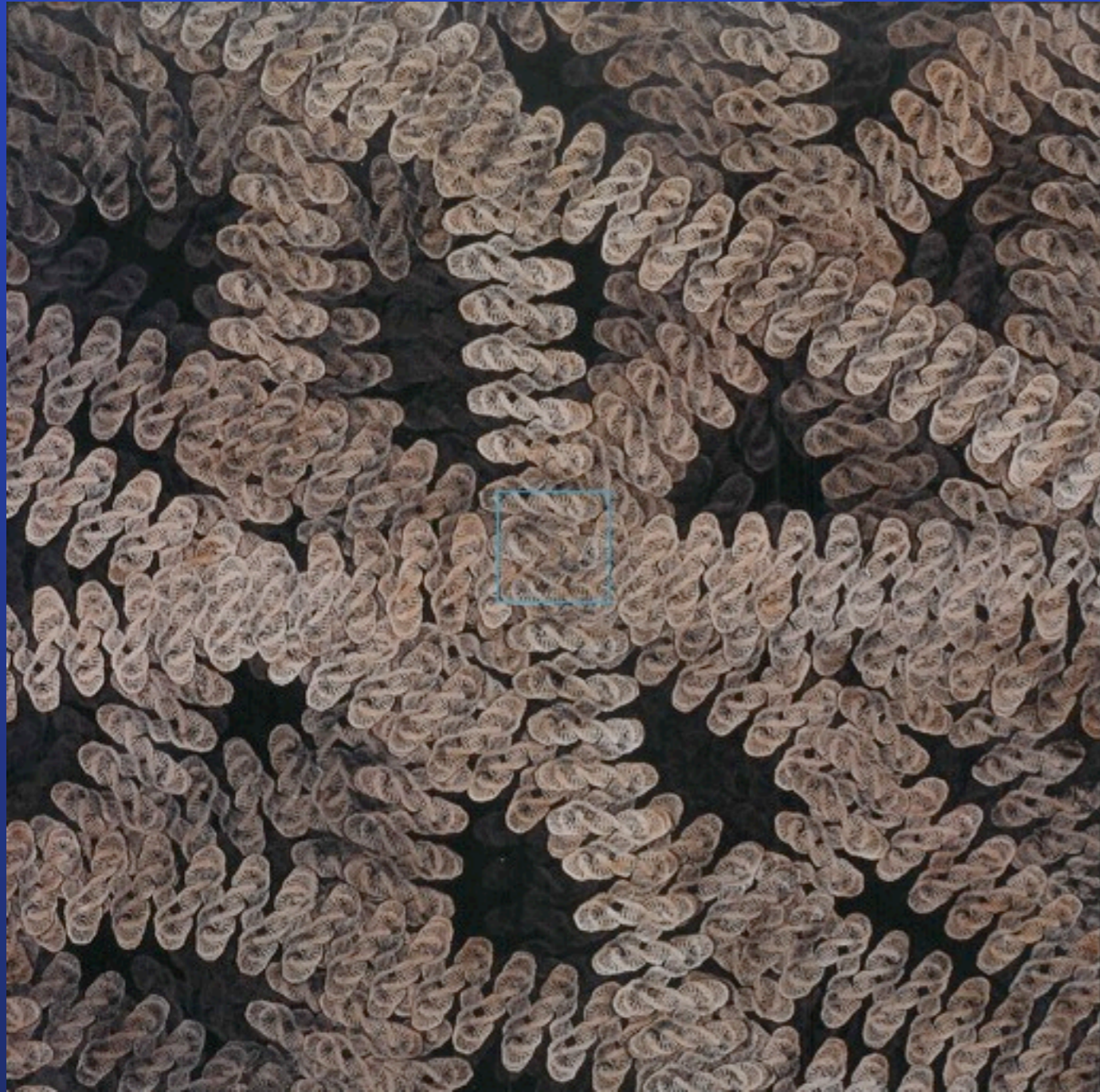
0.1 meter

weefsel:

0.0001 meter

Kees Boeke: *Wij in het heelal, een heelal in ons* (1957)

Hoe klein is klein?



hand:

0.1 meter

weefsel:

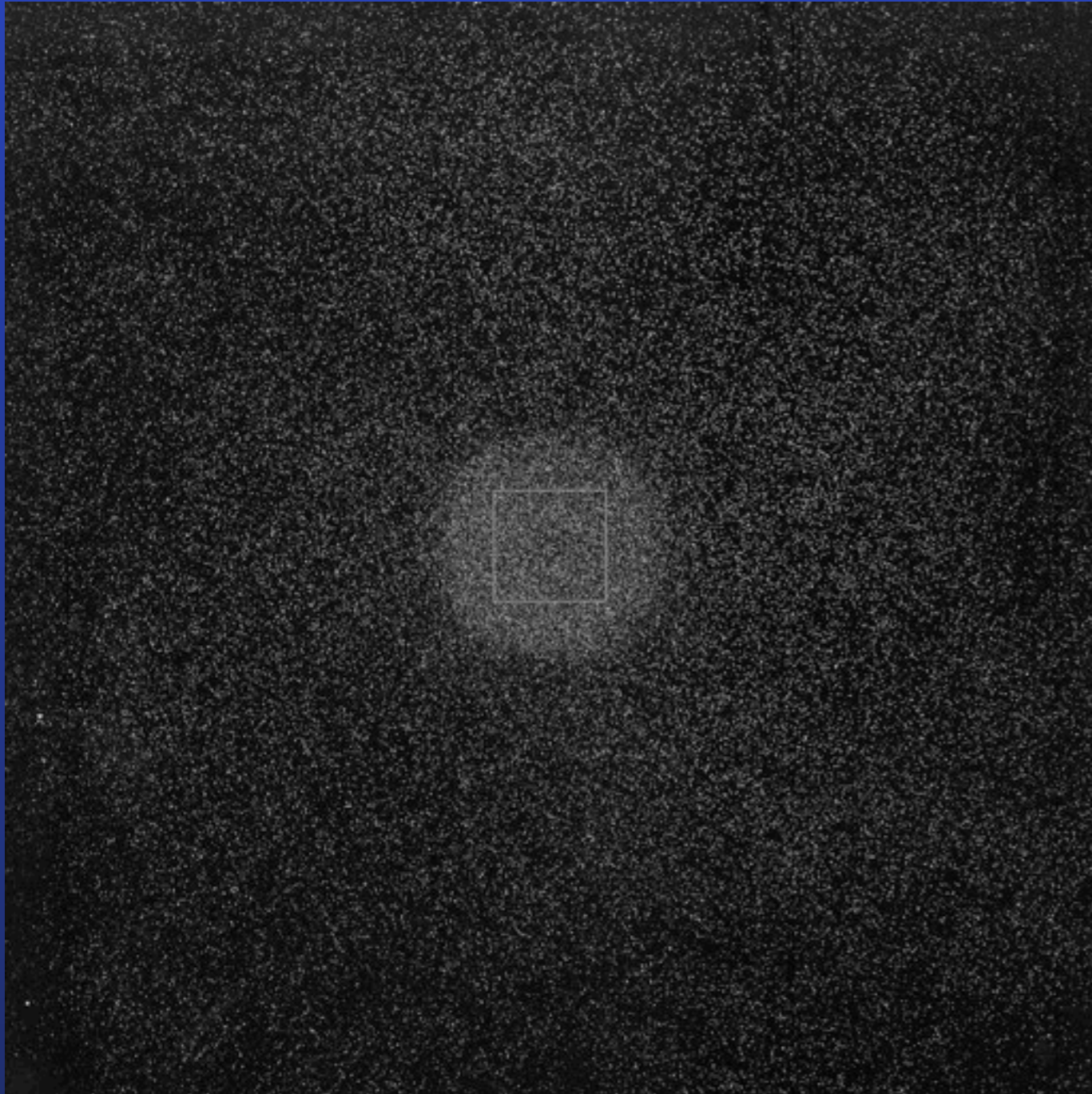
0.0001 meter

DNA-molecuul:

0.0000001 m = 100 nanometer

Kees Boeke: Wij in het heelal, een heelal in ons (1957)

Hoe klein is klein?



hand:

0.1 meter

weefsel:

0.0001 meter

DNA-molecuul:

0.0000001 m = 100 nanometer

atoom:

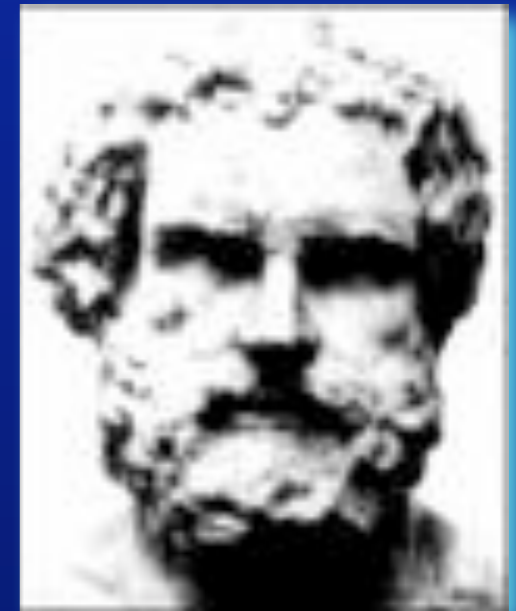
0.0000000001 m = 0.1 nm

Kees Boeke: Wij in het heelal, een heelal in ons (1957)

Elementaire bouwstenen

Leukippos en Demokritos:
(rond 450 v.C.)

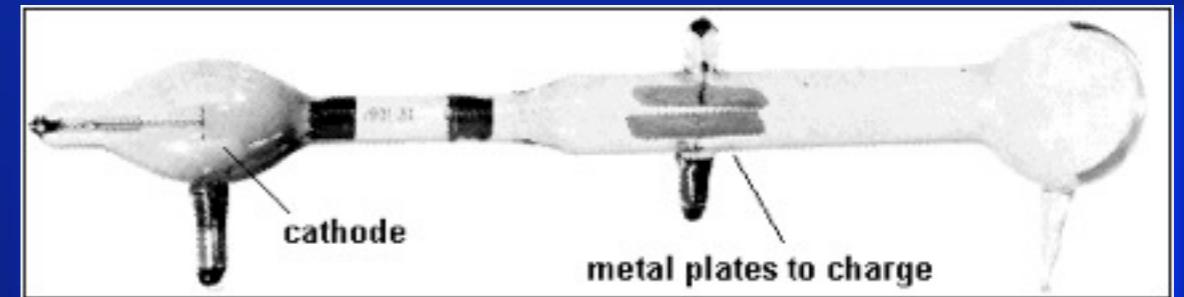
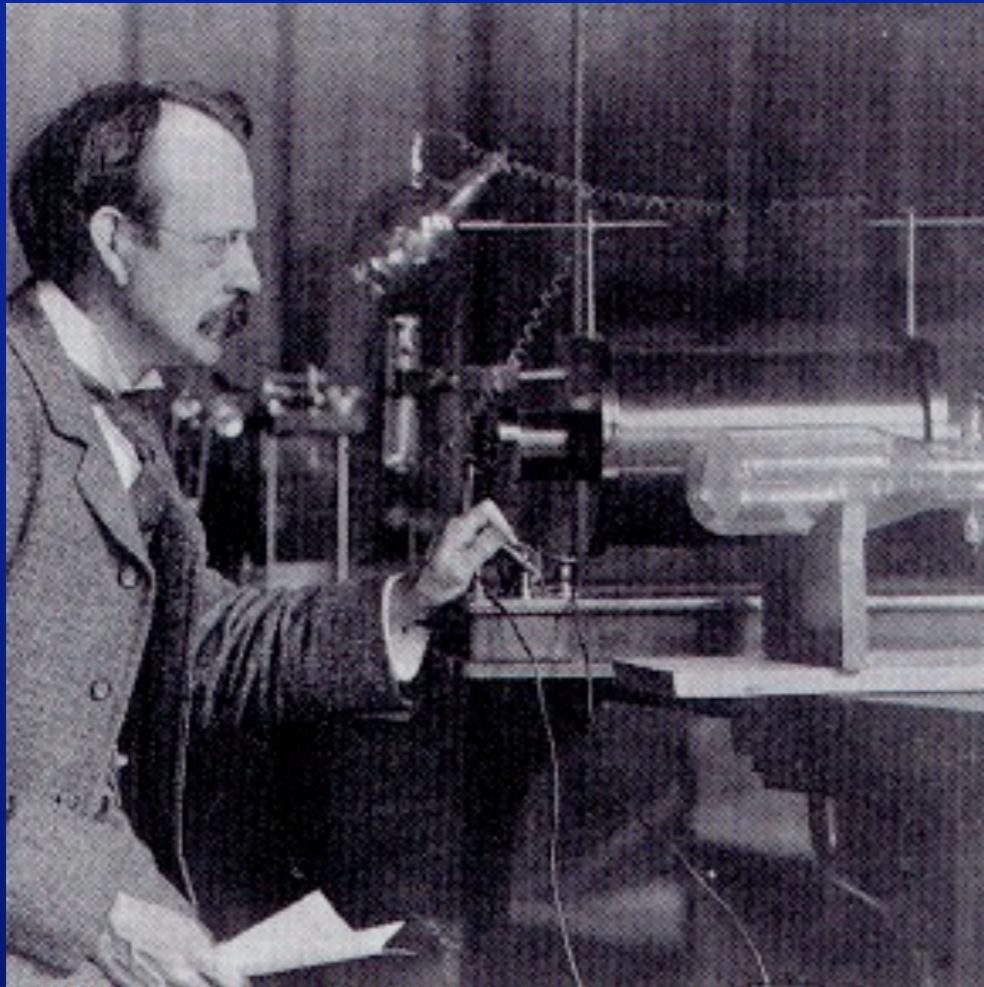
alles bestaat uit **atomen**
ondeelbare bouwstenen
in een **lege ruimte**



maar: atomen zijn geen elementaire deeltjes!

Het elektron ontdekt

1899: ontdekking van het elektron door Joseph John Thomson:



Thomson voerde een aantal onafhankelijke experimenten uit en bepaalde zowel de **massa** als de **elektrische lading**

Elektron: elektrisch geladen deeltje dat 1000 maal kleiner is dan het atoom.

Het elektron in de natuur



en in het dagelijks leven

elektrisch licht



mobiel



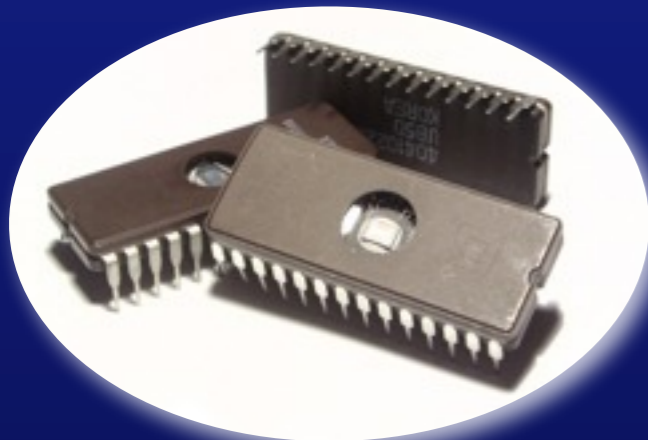
elektromotor



supercomputer



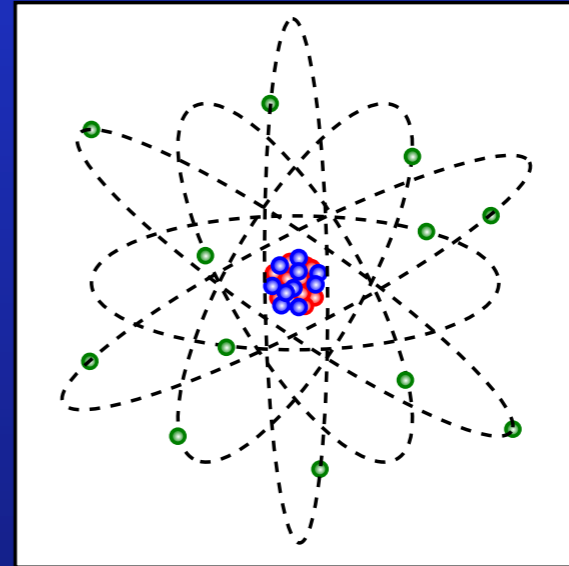
computerchip



Terug naar het atoom

Het atoom bestaat grotendeels uit lege ruimte!

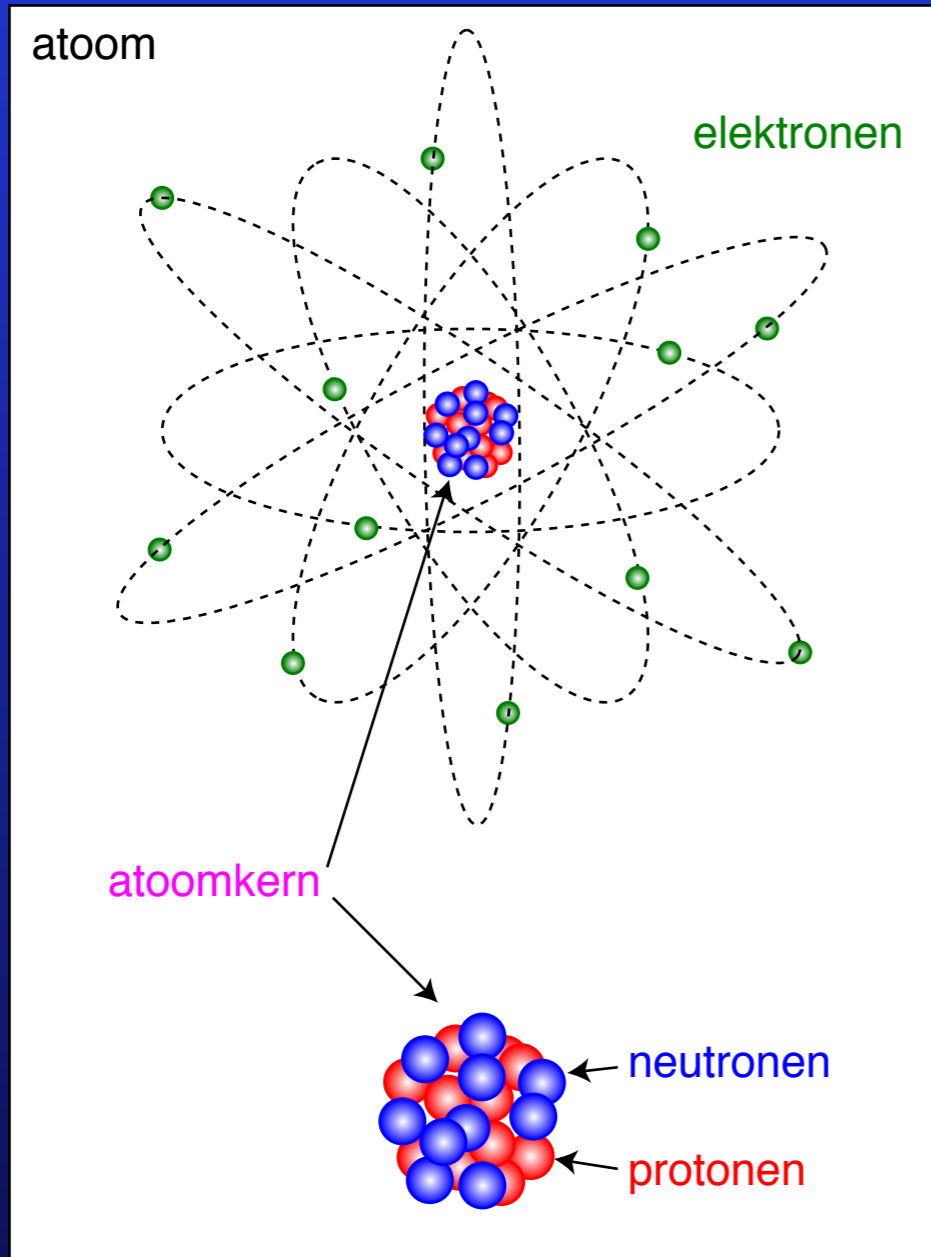
- ▶ een positief geladen kern
- ▶ een wolk van elektronen



als een zonnestelsel: bij elkaar
gehouden door de elektrische kracht

Overlappen van de elektronenwolken van
verschillende atomen veroorzaakt de
chemische binding van atomen tot moleculen.

De atoomkern



De positief geladen atoomkern bestaat uit twee soorten deeltjes:

protonen en neutronen

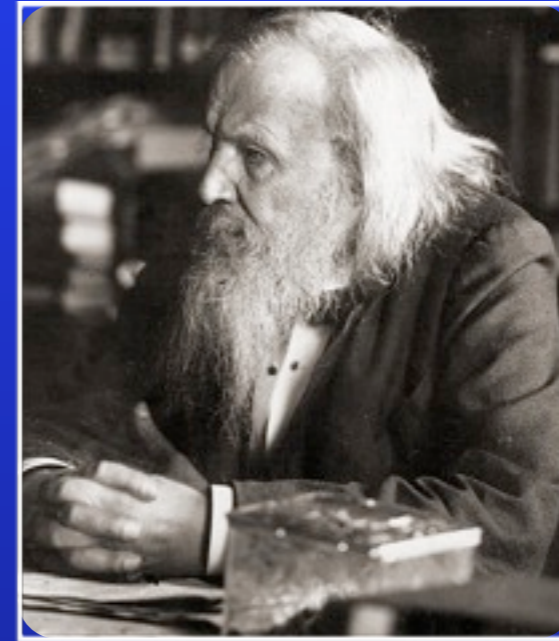
Er bestaan meer dan honderd verschillende atoomkernen opgebouwd uit protonen en neutronen

Veel van die kernen zijn niet stabiel. De zwaarste kernen kunnen alleen in het labortorium worden gemaakt.

Periodiek systeem der elementen

kan worden verklaard uit subtiële quantum-mechanische effecten van de elektronenschillen

Dimitri Mendeleev
1834-1907

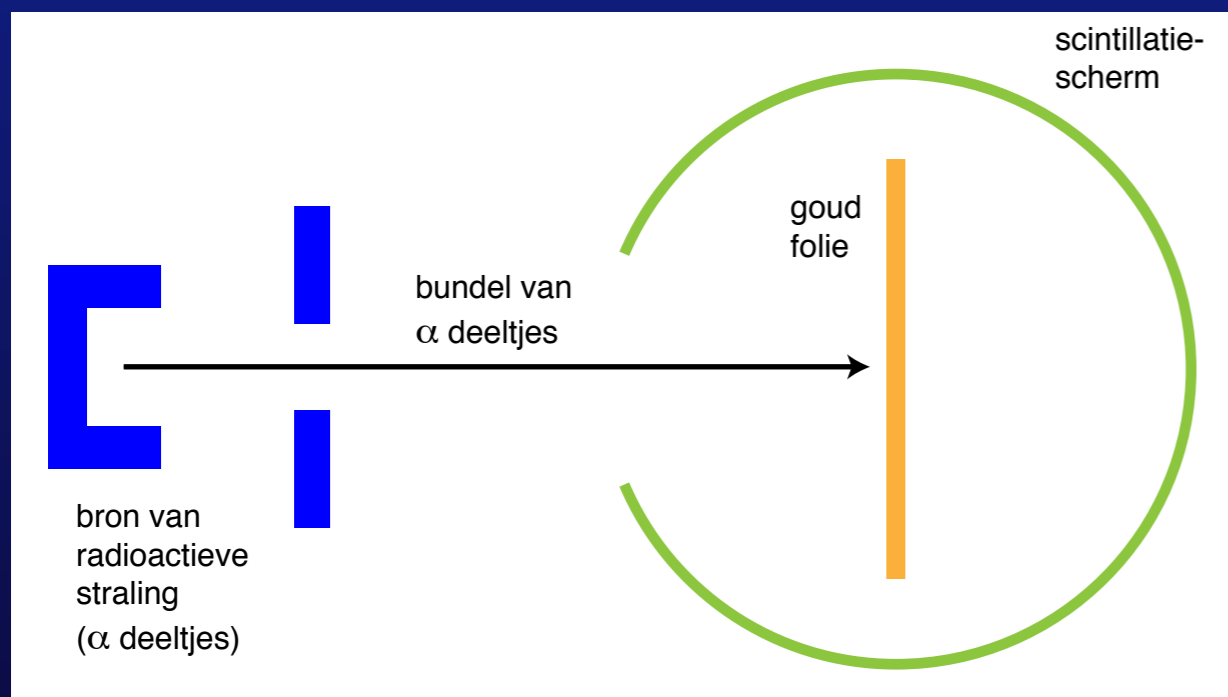


H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub						
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Hoe weten we van de atoomkern?

Rutherford verstrooiingsexperiment

1909 door Geiger en Marsden



deeltjes afkomstig uit een radioactieve stof
gestuurd op dunne goudfolie
achter de goudfolie staat een scintillatiescherm

Rutherford Experiment



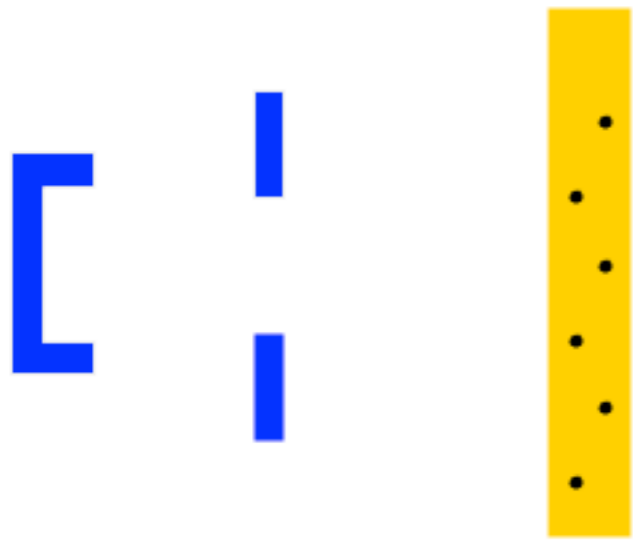
meeste deeltjes worden
niet afgebogen

1 per 8000 deeltjes wordt
wel afgebogen

er moet een kleine kern
zijn waar bijna alle massa
geconcentreerd is

“zonnestelsel” met kern 3000 maal kleiner dan het atoom

Rutherford Experiment



meeste deeltjes worden
niet afgebogen

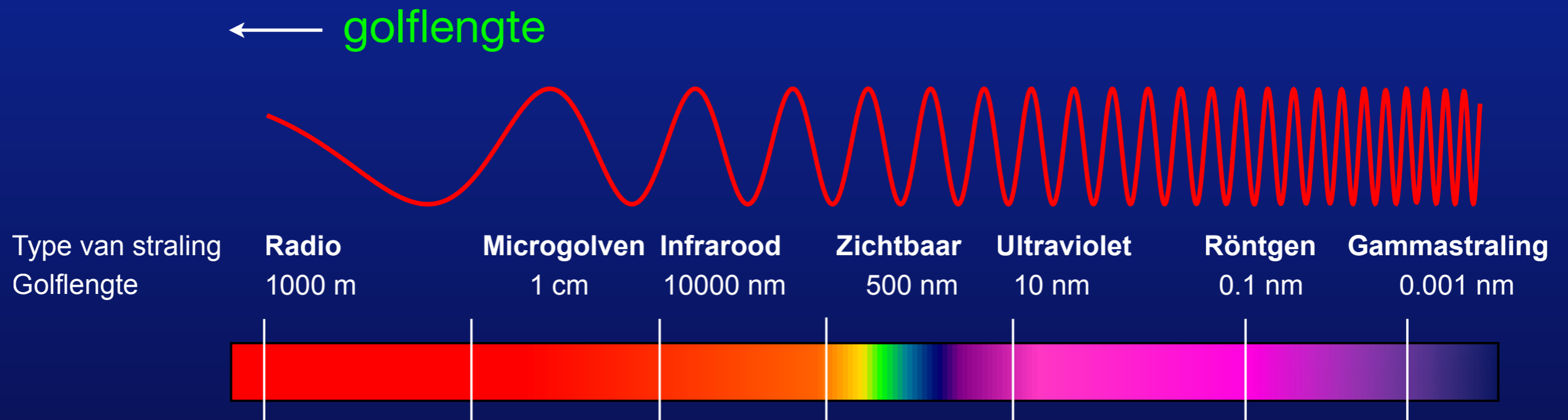
1 per 8000 deeltjes wordt
wel afgebogen

er moet een kleine kern
zijn waar bijna alle massa
geconcentreerd is

“zonnestelsel” met kern 3000 maal kleiner dan het atoom

Het foton

Licht (maar ook Röntgenstraling, radiostraling e.d.)
is een elektromagnetische golf \Rightarrow golflengte



Het foton

Volgens de quantummechanica:

Deeltjes kunnen zich gedragen als **golven**

Golven (licht) kunnen zich gedragen als **deeltjes**

Elektromagnetische **golven** hebben een **deeltjes** karakter!

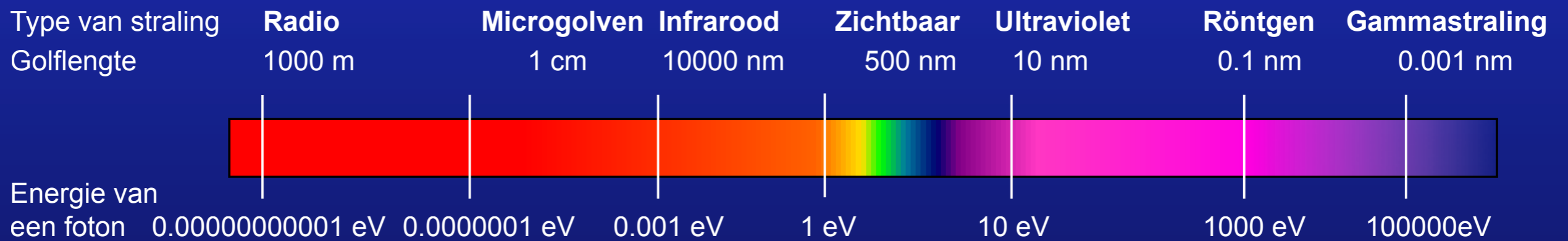
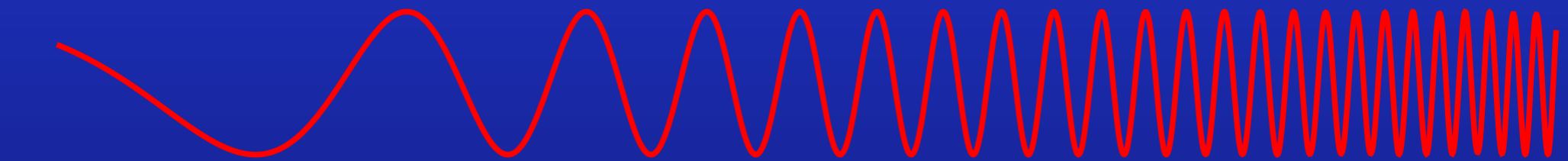
Het lichtdeeltje is het **foton**

Het foton beweegt met de snelheid van het licht.

golf ← **foton** → **kracht**

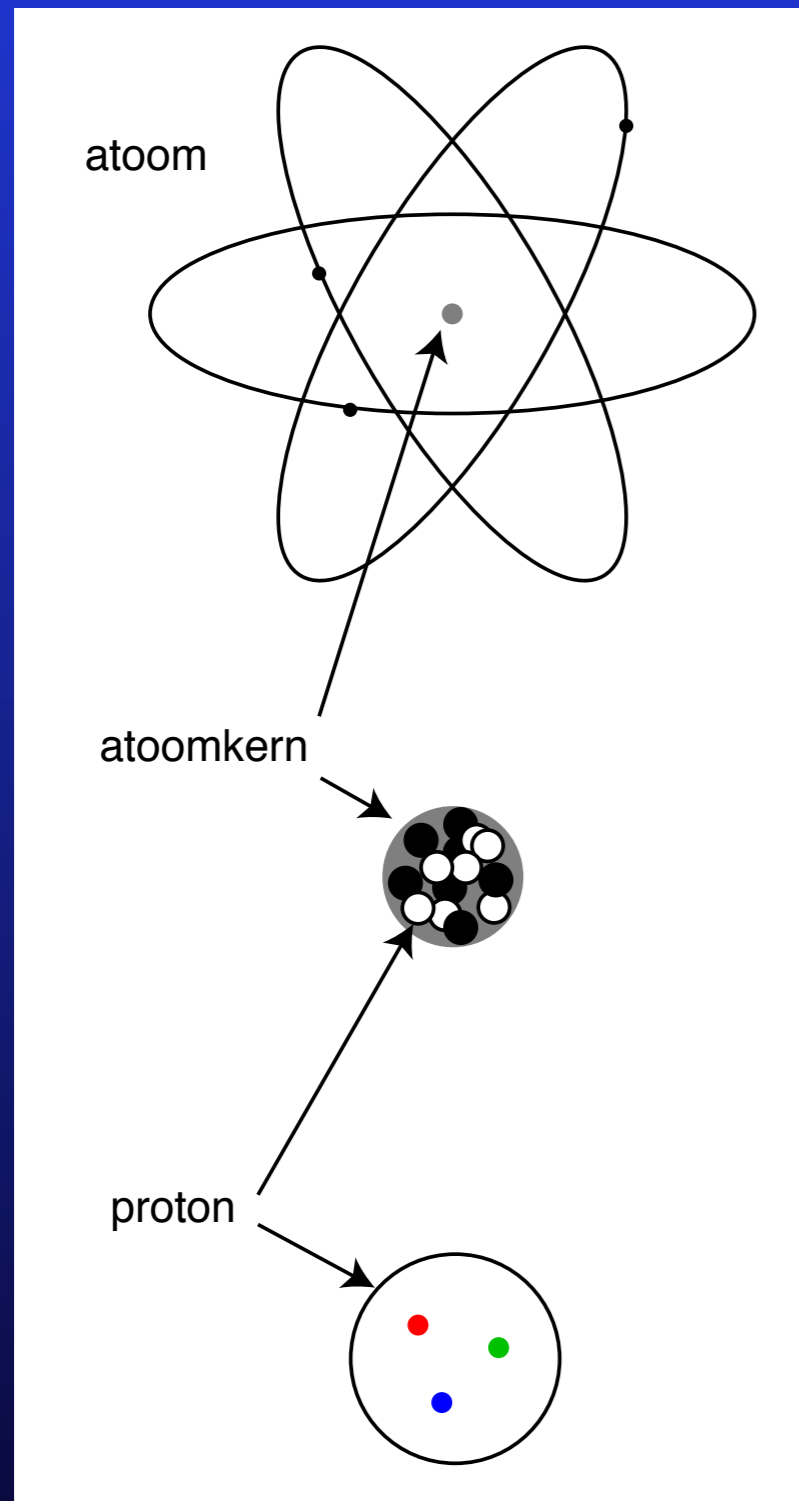
Het foton

← golflengte



foton energie →

Quarks en de sterke kracht



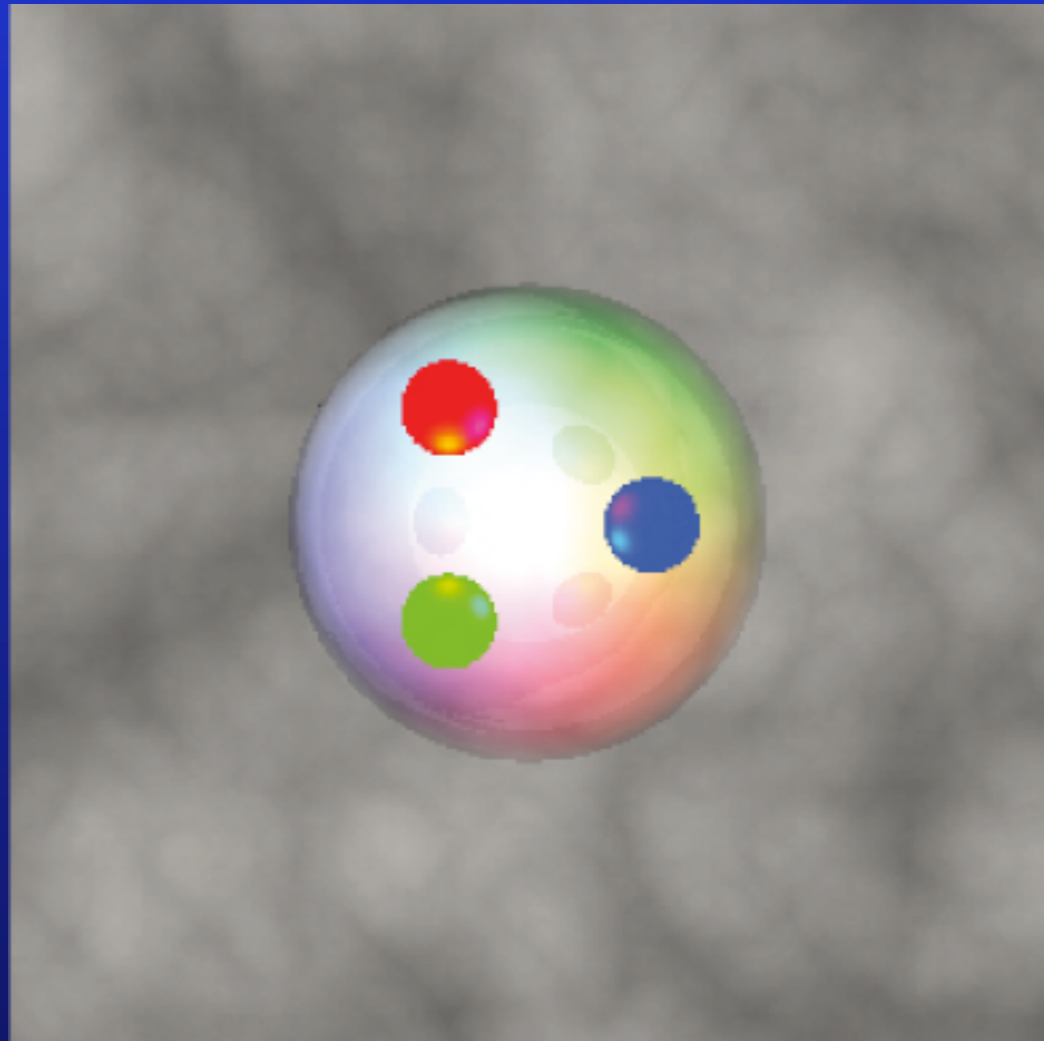
Protonen en neutronen bestaan uit **quarks**.

Atoomkern, proton en neutron worden bij elkaar gehouden door de **sterke kracht**.

Ontdekt met een moderne variant van het Rutherford experiment

10^{-16} meter = 0.0000000000000001 meter

Quarks



Quarks hebben vreemde eigenschappen:

‘kleur’

quarks en gluonen **komen niet voor als vrije deeltjes!**

Gluonen lijken op fotonen. Maar ze komen niet voor als vrije deeltjes omdat ze onderhevig zijn aan de sterke kracht. Gluonen zijn de ‘lijmdeeltjes’ van de sterke kracht.

Microscopen

Hoe kunnen we die kleine
elementaire deeltjes waarnemen?

Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



bepalende factor:
golflengte



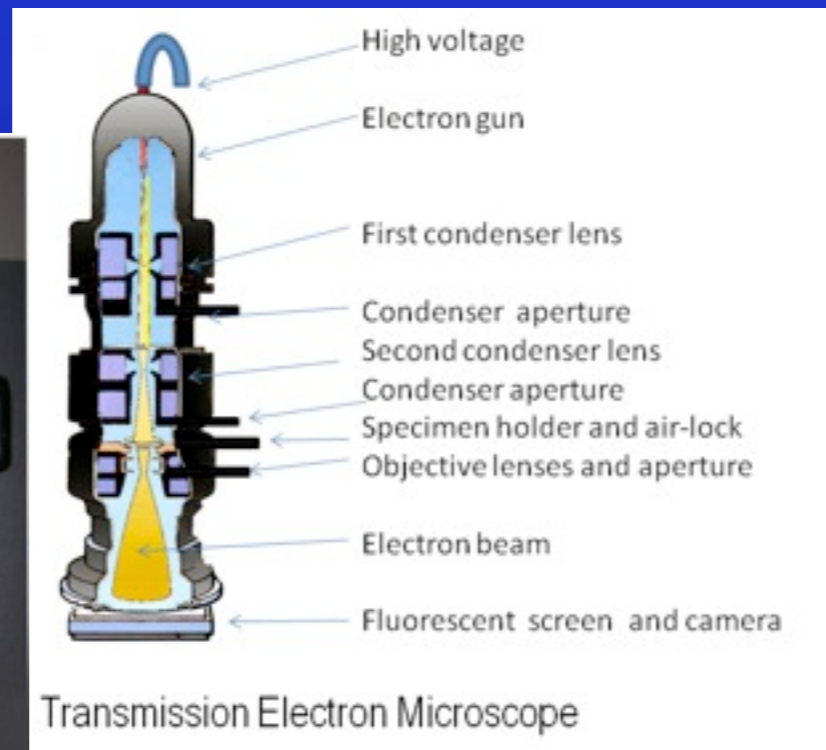
kleine golflengte =
hoge energie



kleine golflengte
grote energie

groot scheidend
vermogen vereist
hoge energie en dus
grote apparatuur

Deeltjes-Microscopen



heel kleine structuren niet
meer zichtbaar met licht

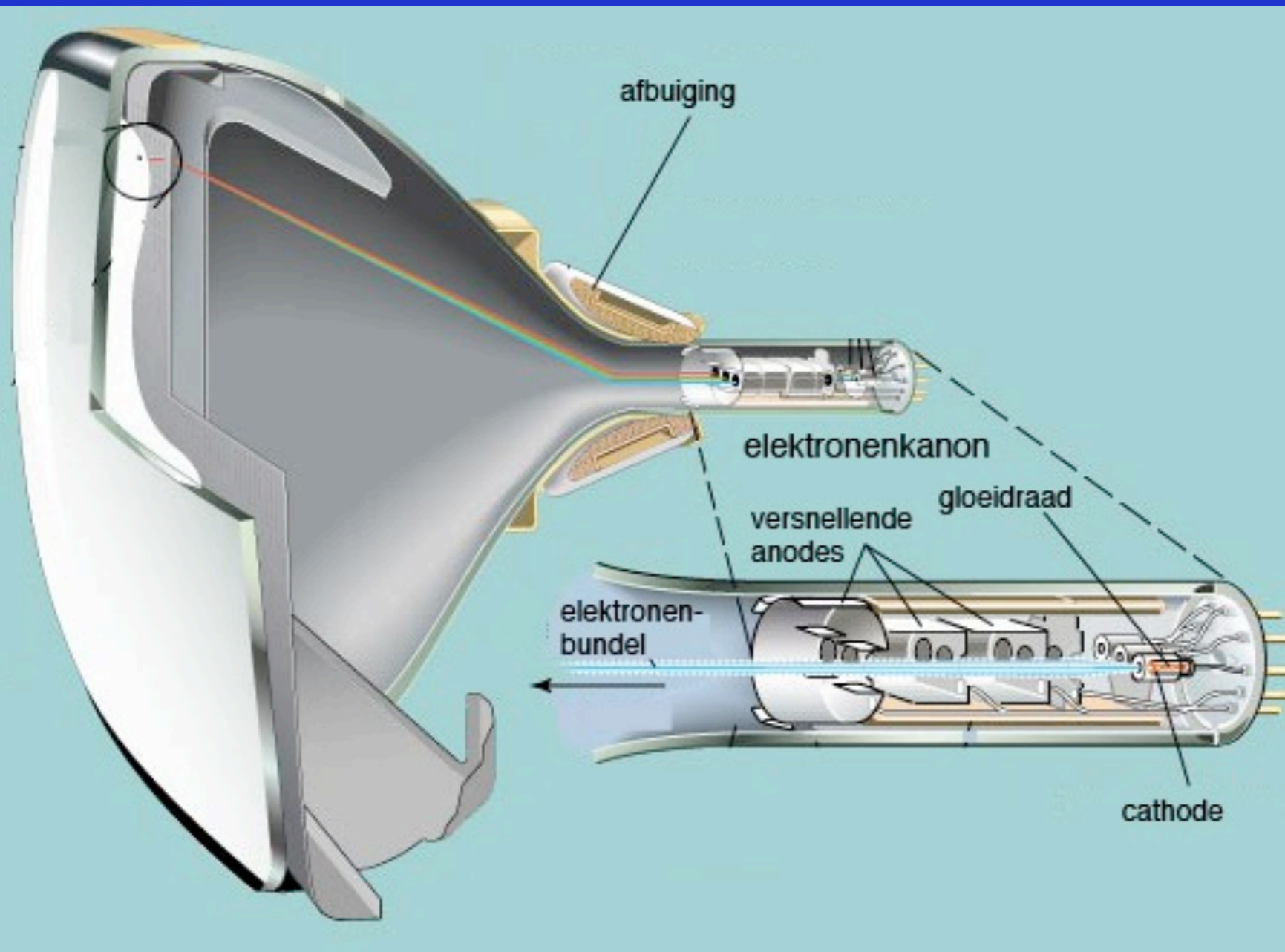
volgende stap:
elektronenmicroscop
(een deeltjesversneller)



waarneming indirect door
een detector:
fotoplaat, scintillatiescherm

een mier onder de
elektronenmicroscop

Versneller in de TV-buis

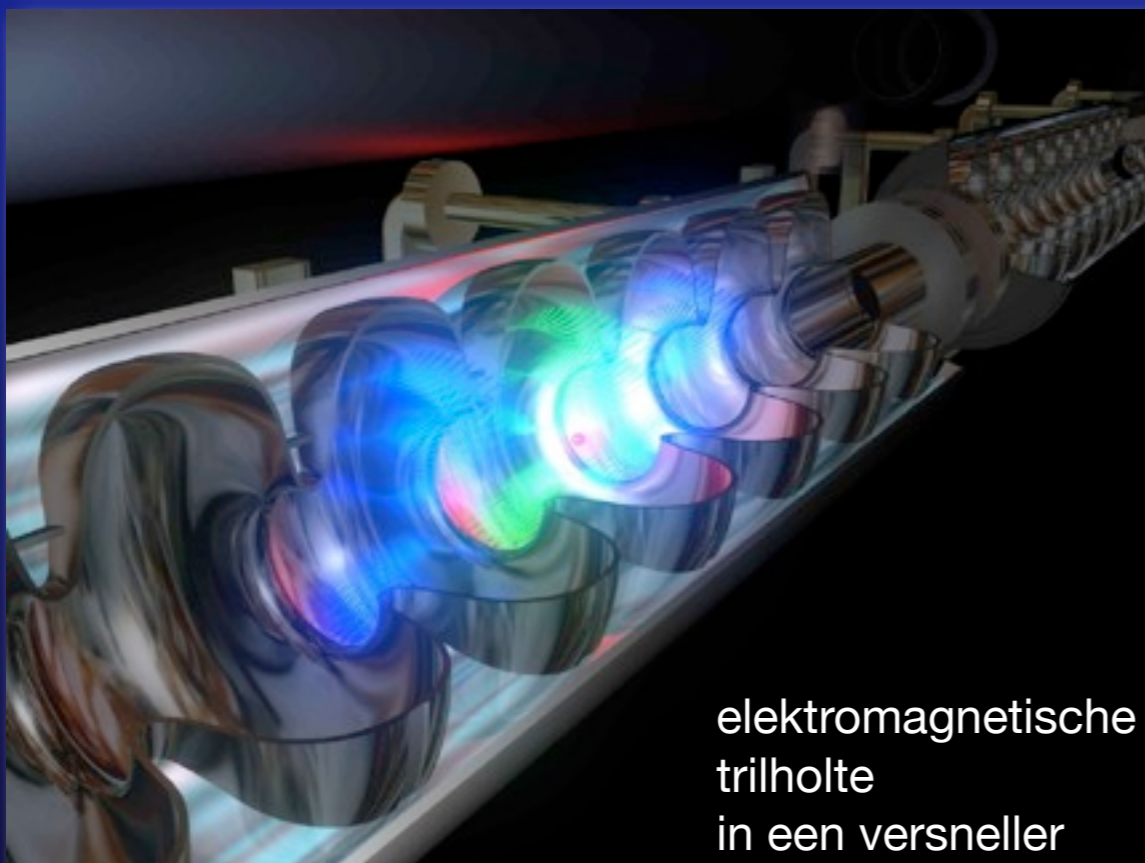
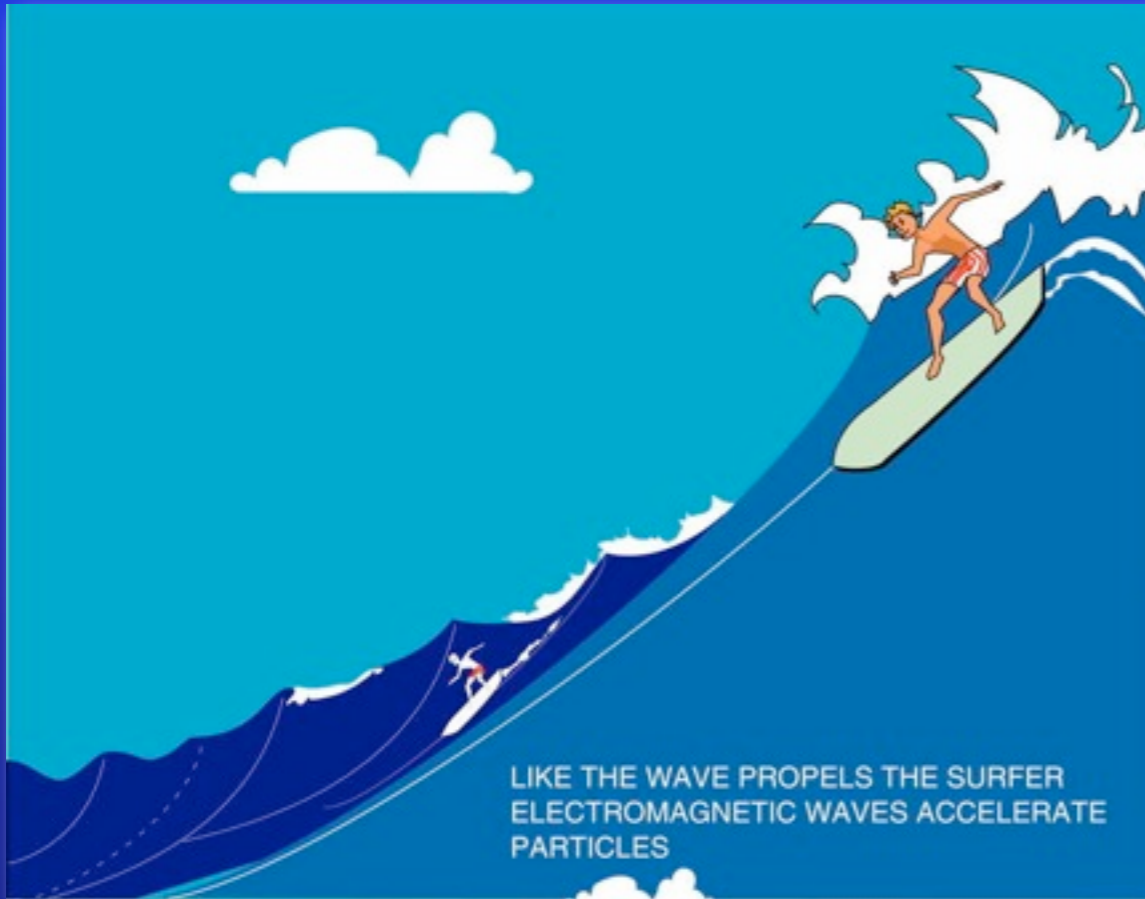


principe:

- ▶ **bron** van deeltjes: gloeidraad
- ▶ **versnelling**: elektrische spanning tussen cathode en anode
- ▶ **optiek**: focussering en afbuiging

TV-buis heeft een spanning van ≈ 1000 Volt

Moderne versnellers



versnelling met een
elektromagnetische golf

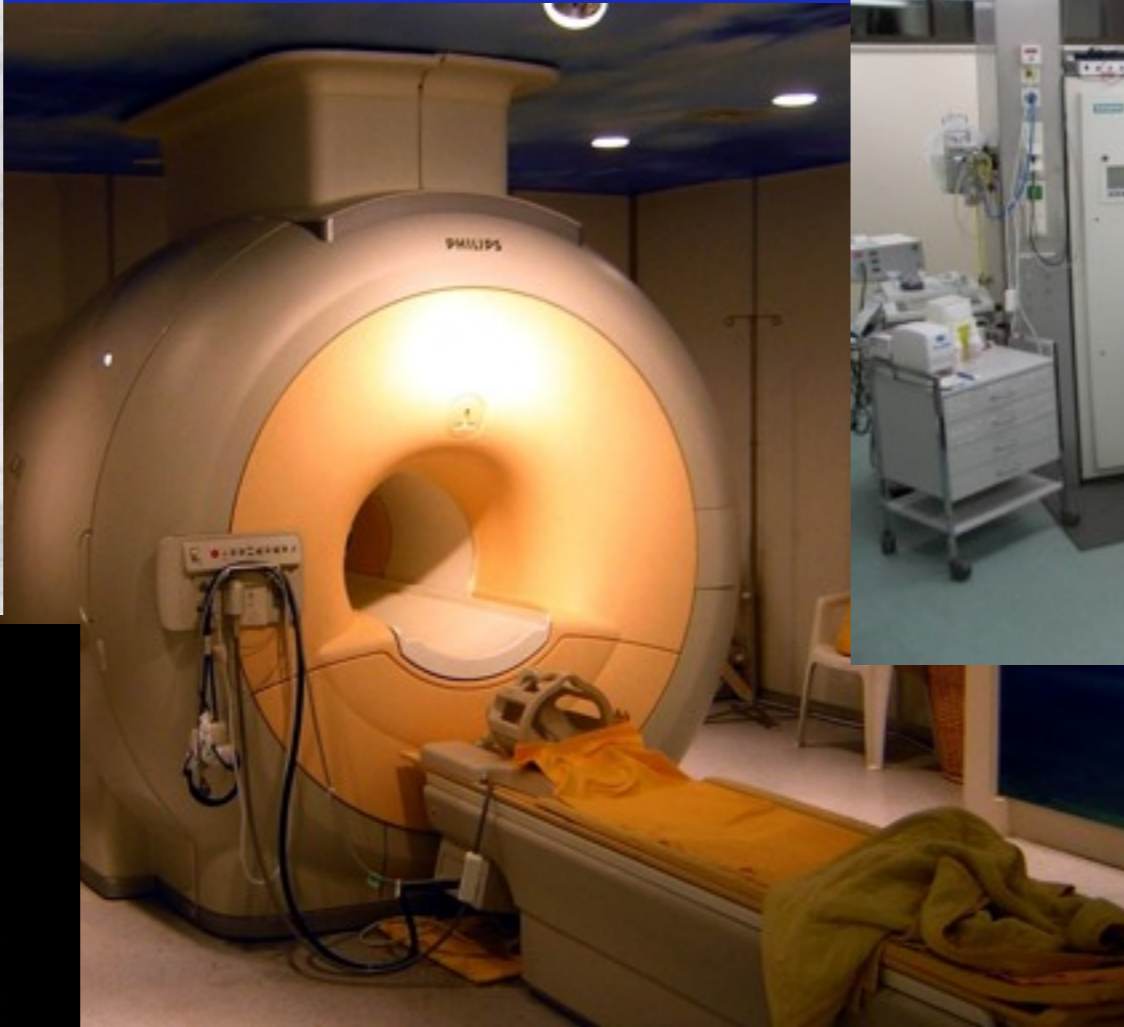
▶ deeltjes rijden op de
elektromagnetische golf als een
surfer op een golf in zee

veel hogere energie dan met
een statische spanning

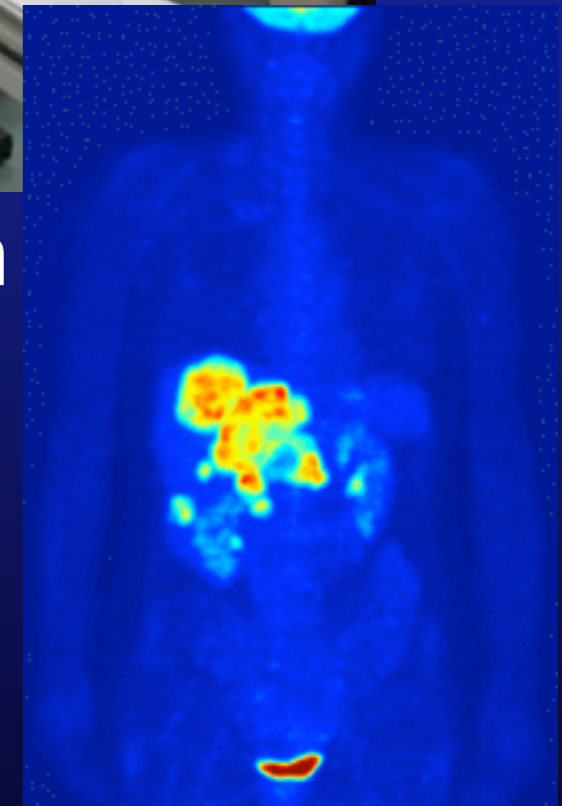


September 2000: First LHC module of four superconducting cavities. One of the modules that will supply 400 MHz radio-frequency power to accelerate the particles in CERN's LHC collider.

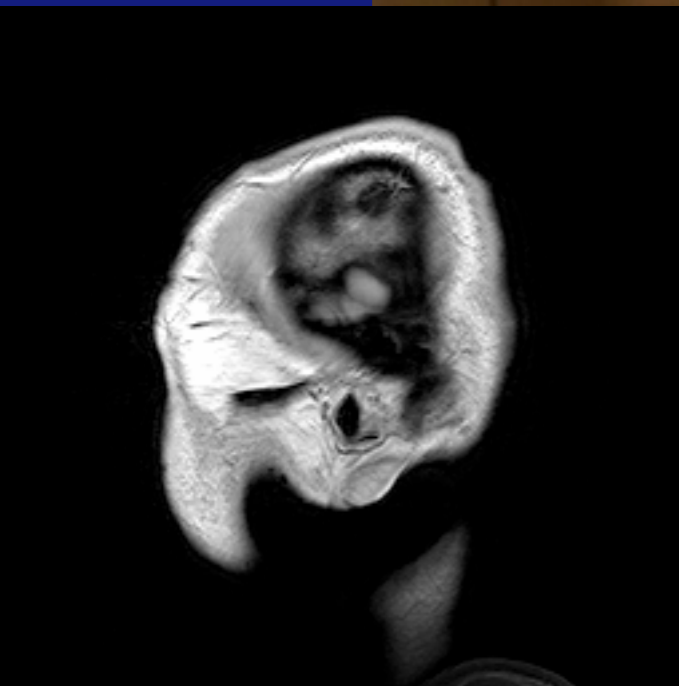
Nuttige technologieën ...



PET scan



MRI scan



Onverwachts....

World Wide Web



Eerste WWW Server

Systematiek

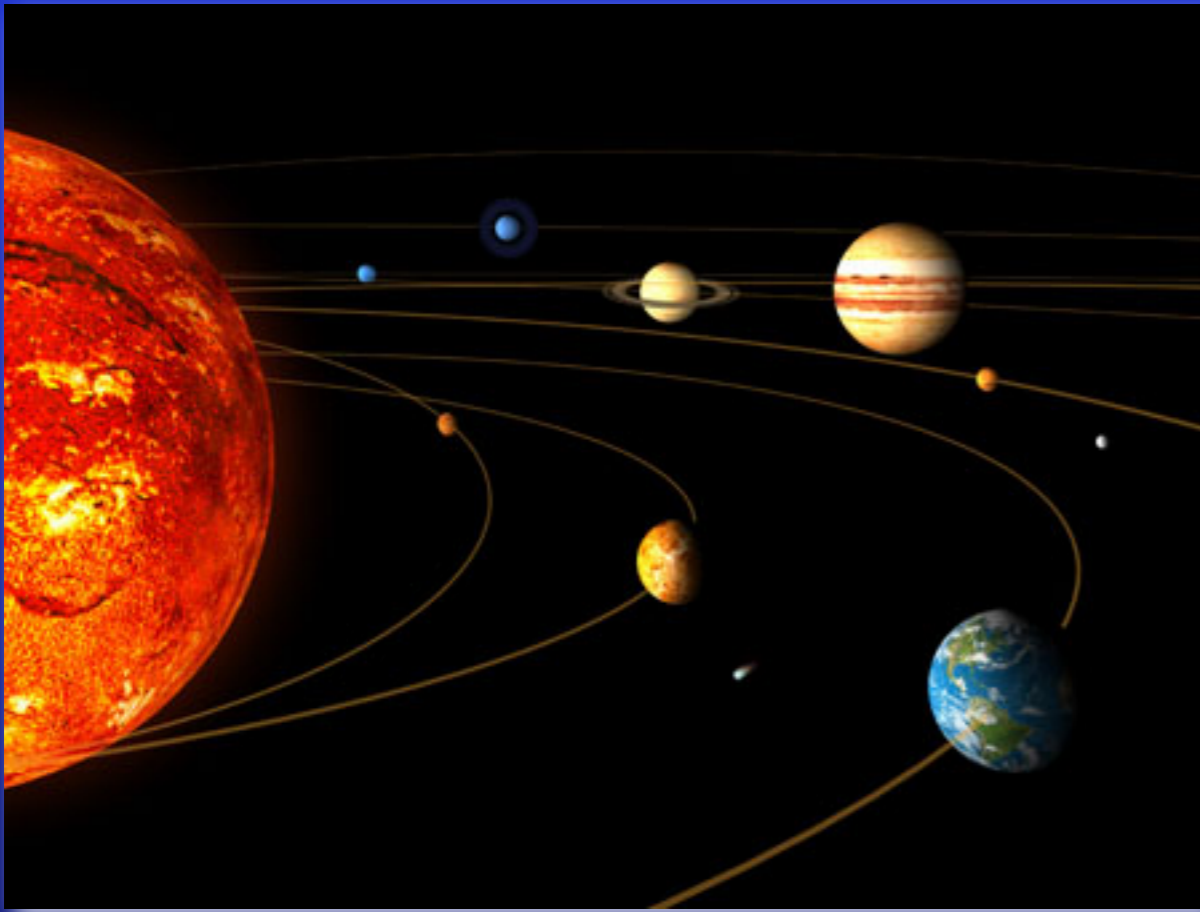
Zijn alle elementaire deeltjes
onderling vergelijkbaar?

Fundamentele krachten

- Elektromagnetische kracht (foton)
- Zwaartekracht (graviton)
- Sterke kracht (gluon)
- Zwakke kracht (W en Z deeltjes)

De W en Z deeltjes zijn niet massaloos en bewegen niet met de lichtsnelheid. Zij zijn ook niet stabiel en vervallen in andere deeltjes.

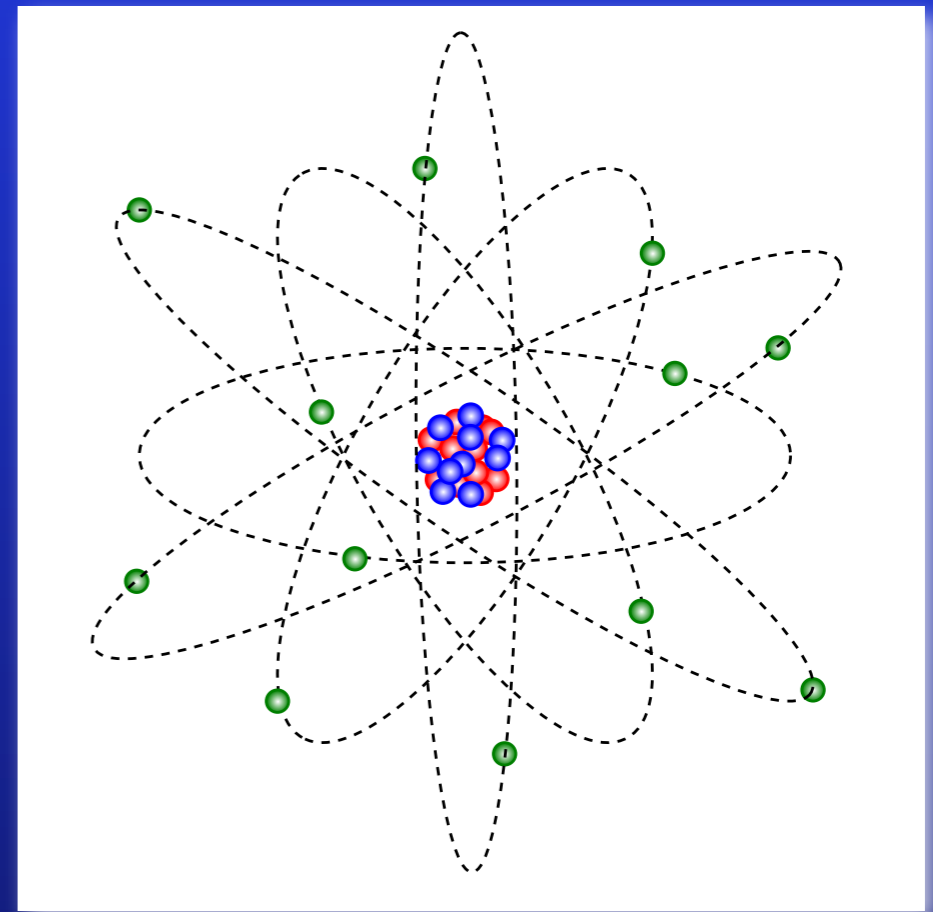
Twée bekende krachten



Zonnestelsel bij elkaar
gehouden door de
zwaartekracht.

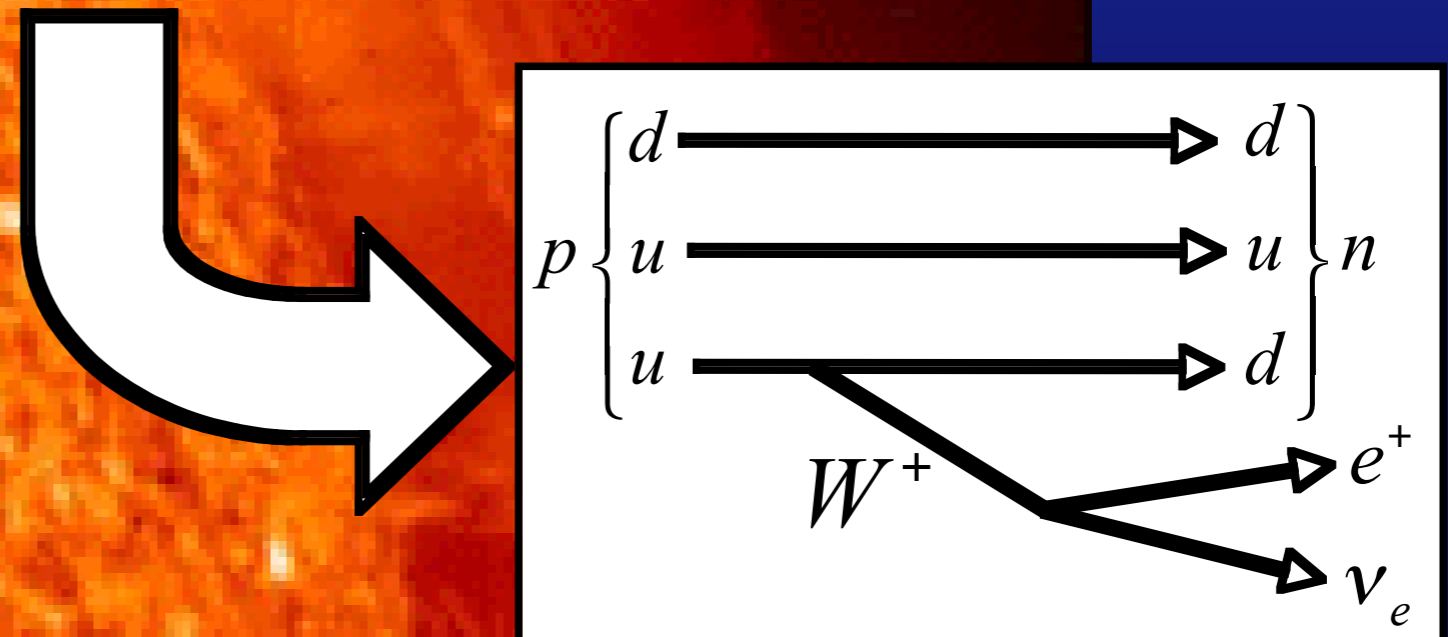
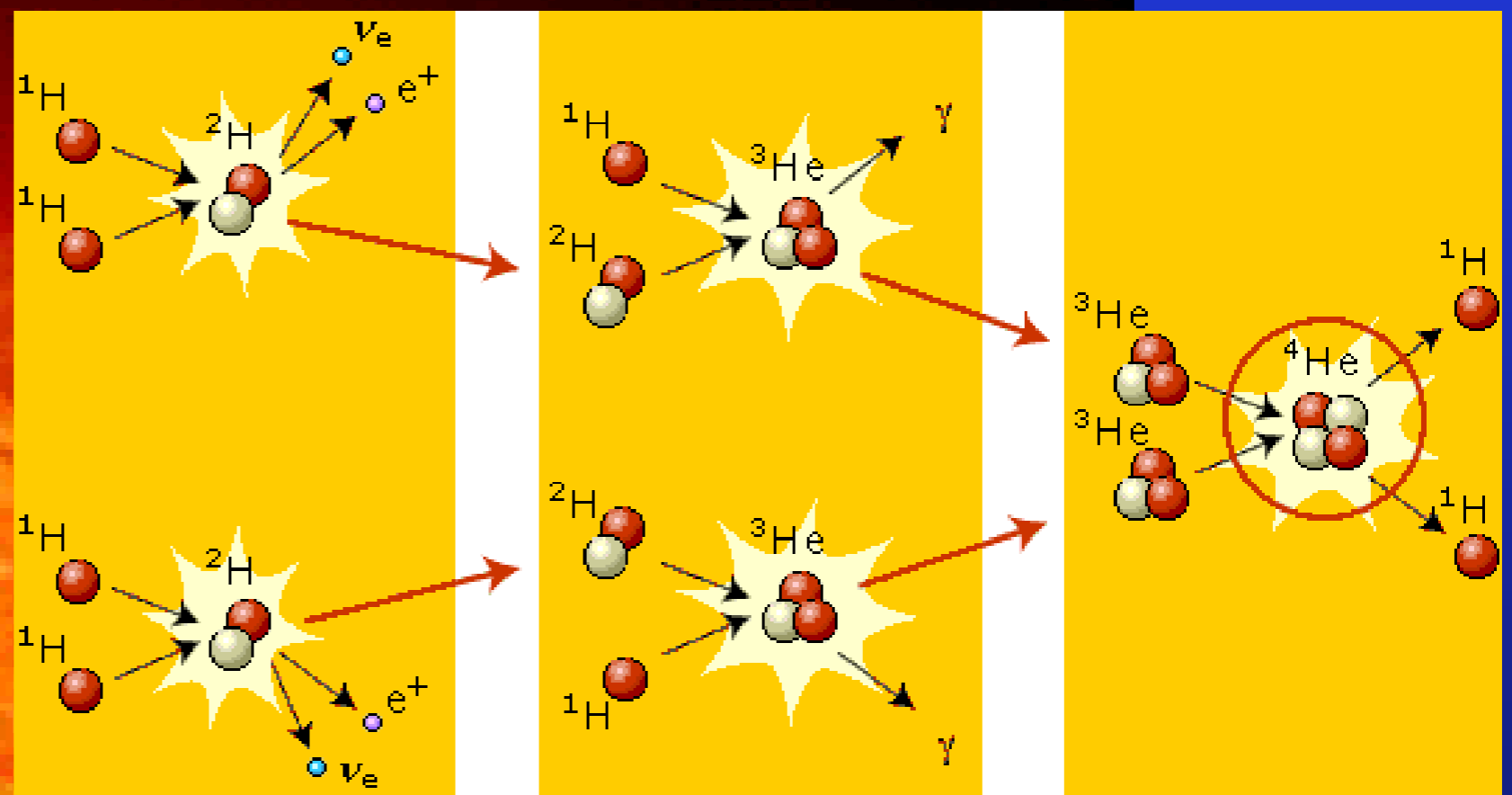
sterkte: gegeven door massa/lading

lange dracht: voelbaar op lange afstand

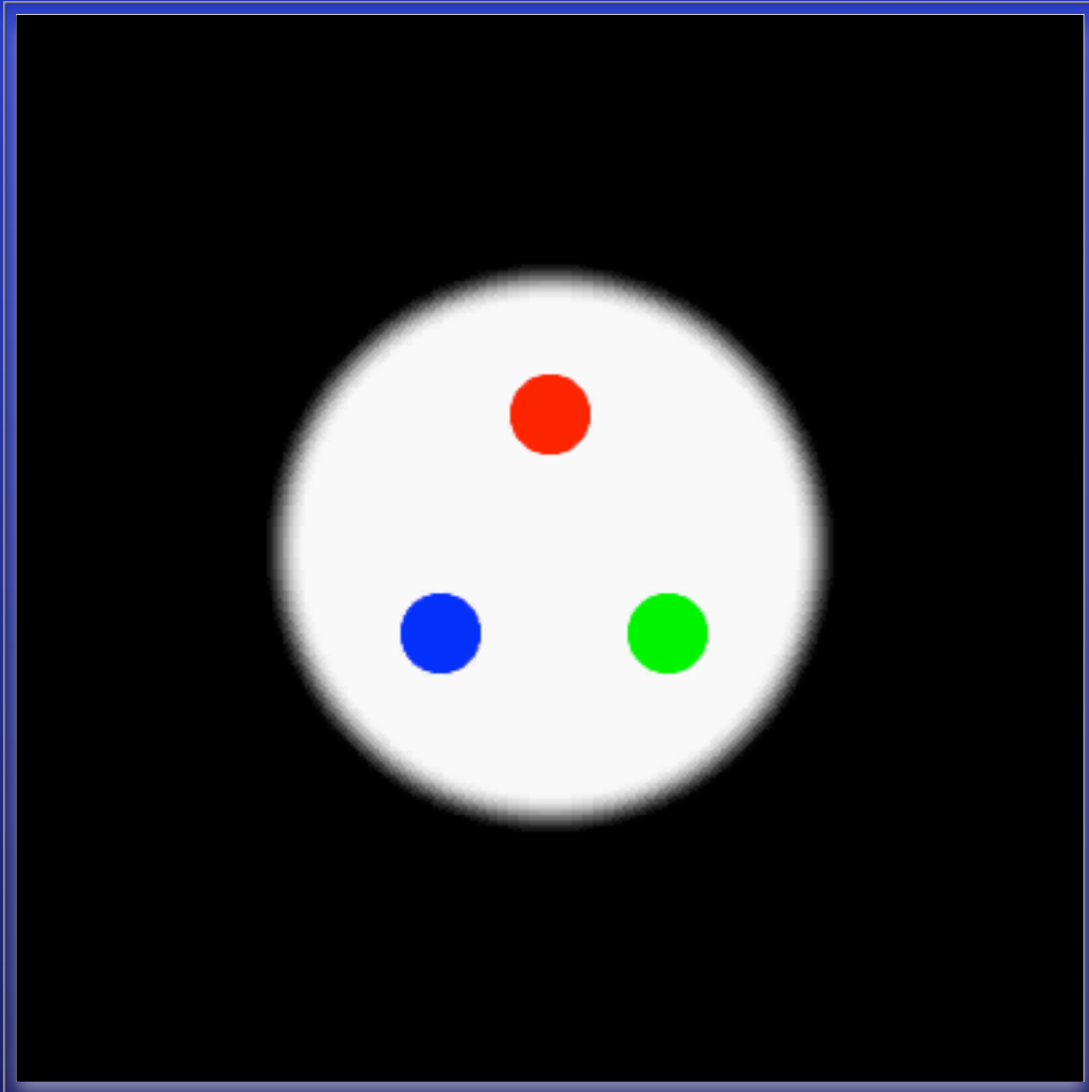


Atoom bij elkaar
gehouden door de
elektrische kracht.

Zwakke kracht laat de zon schijnen



Quarkopsluïting



fundamentele
eigenschap van de
sterke kracht!

**opsluïting is niet goed
begrepen!**

Quarks



Forces



Leptons

(1968 - 1974)

Het Standaard Model

drie 'generaties'
van quarks en
leptonen

Atomen, scheikunde
elektriciteit,....

$10^{15}/s$ door het lichaam
vanuit de zon

proton = $u+u+d$
neutron = $u+d+d$
atoomkernen = $Z \cdot \text{proton}$
 $+ (A-Z) \cdot \text{neutron}$

elektron

e^{-}

elektron-neutrino

ν_e

up-quark

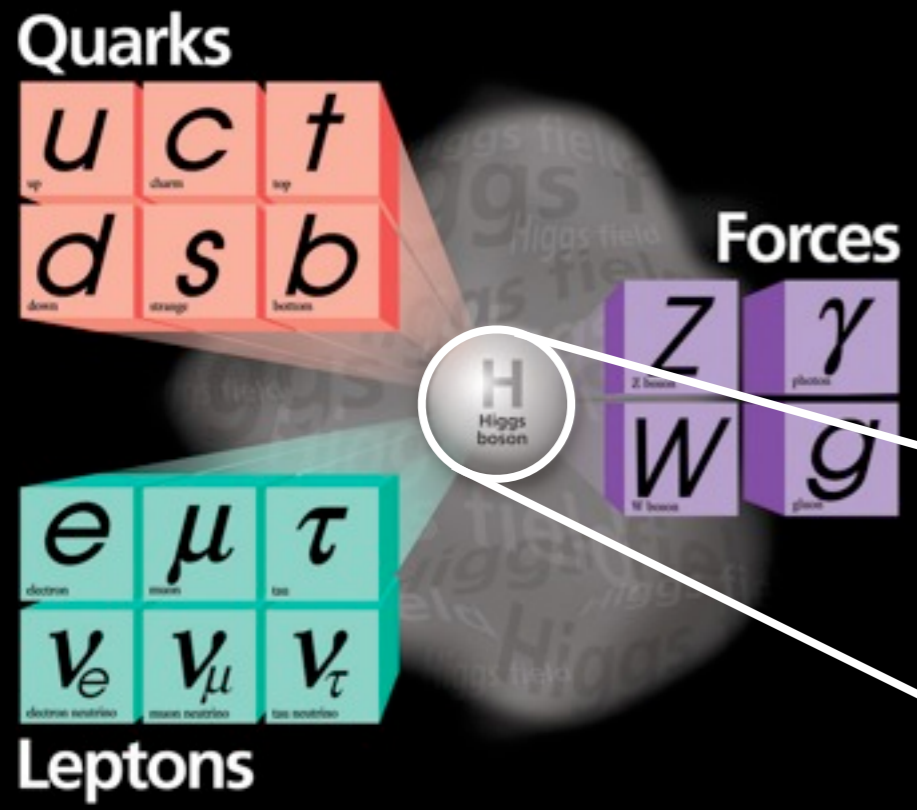
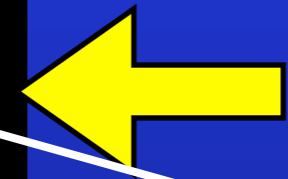
u

down-quark

d

(1968 - 1974)

Het Standaard Model



HIGGS DEELTJE

elektron	e^{-}
elektron-neutrino	ν_e
up-quark	u
down-quark	d

Waarom een Higgs-deeltje?

De theorie van elementaire deeltjes moet in overeenstemming zijn met de **relativiteitstheorie** en de **quantummechanica**.



Het is niet mogelijk om een relativistische quantumtheorie van elementaire deeltjes te formuleren zonder het Higgs-deeltje.

1964



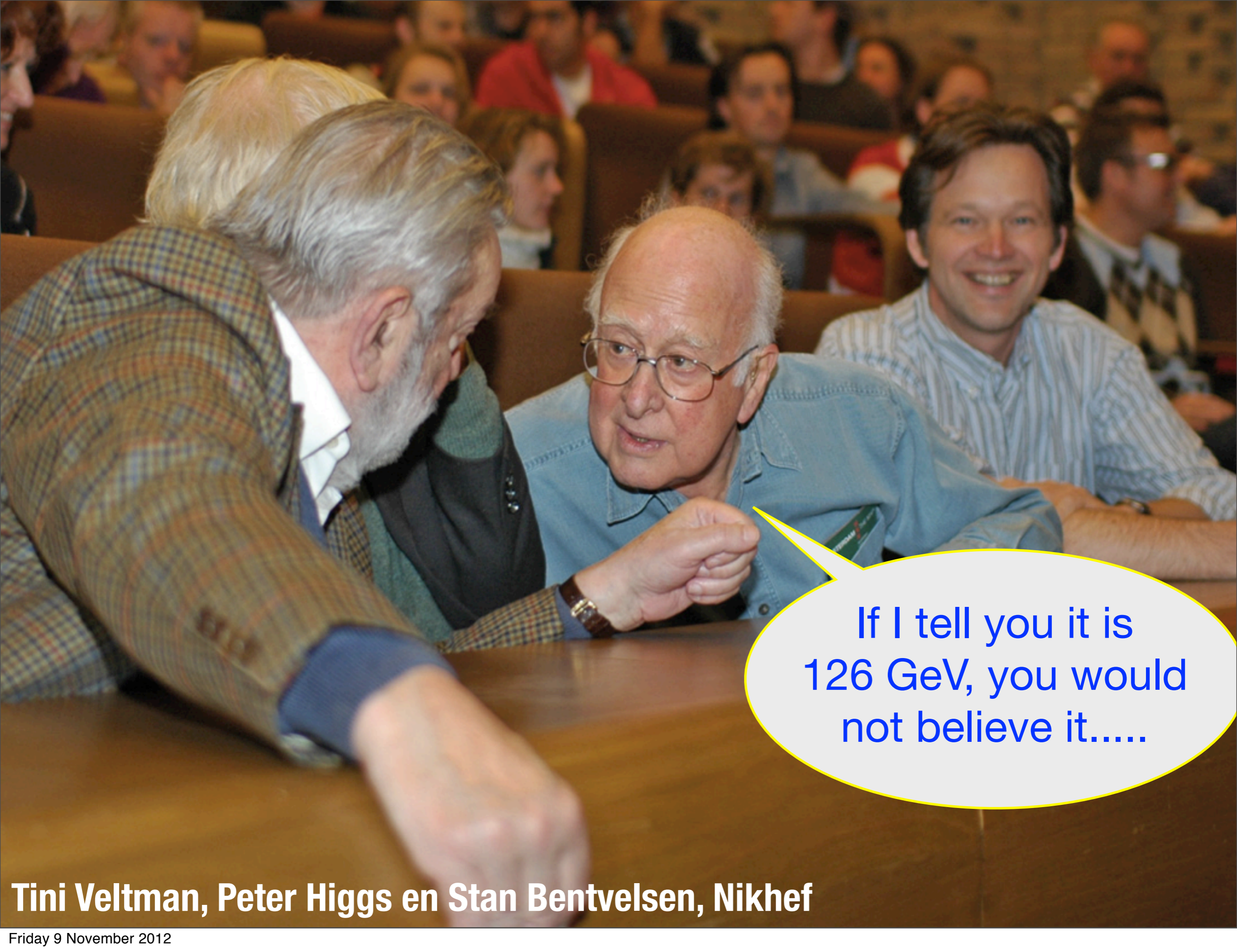
*Physical Review Letters,
Volume 13, Number 9*

François Englert en Robbert Brout



*Physical Review Letters,
Volume 13, Number 16*

François Englert en Peter Higgs



If I tell you it is
126 GeV, you would
not believe it.....

Tini Veltman, Peter Higgs en Stan Bentvelsen, Nikhef



Gerard 't Hooft en Tini Veltman
(Nobelprijs Natuurkunde 1999)

Bewezen dat het Higgs-deeltje noodzakelijk is.
Met behulp van hun resultaten kunnen we nu
gedetailleerde voorspellingen doen gebaseerd
op het Standaard Model.

Experimentele resultaten

4 juli 2012

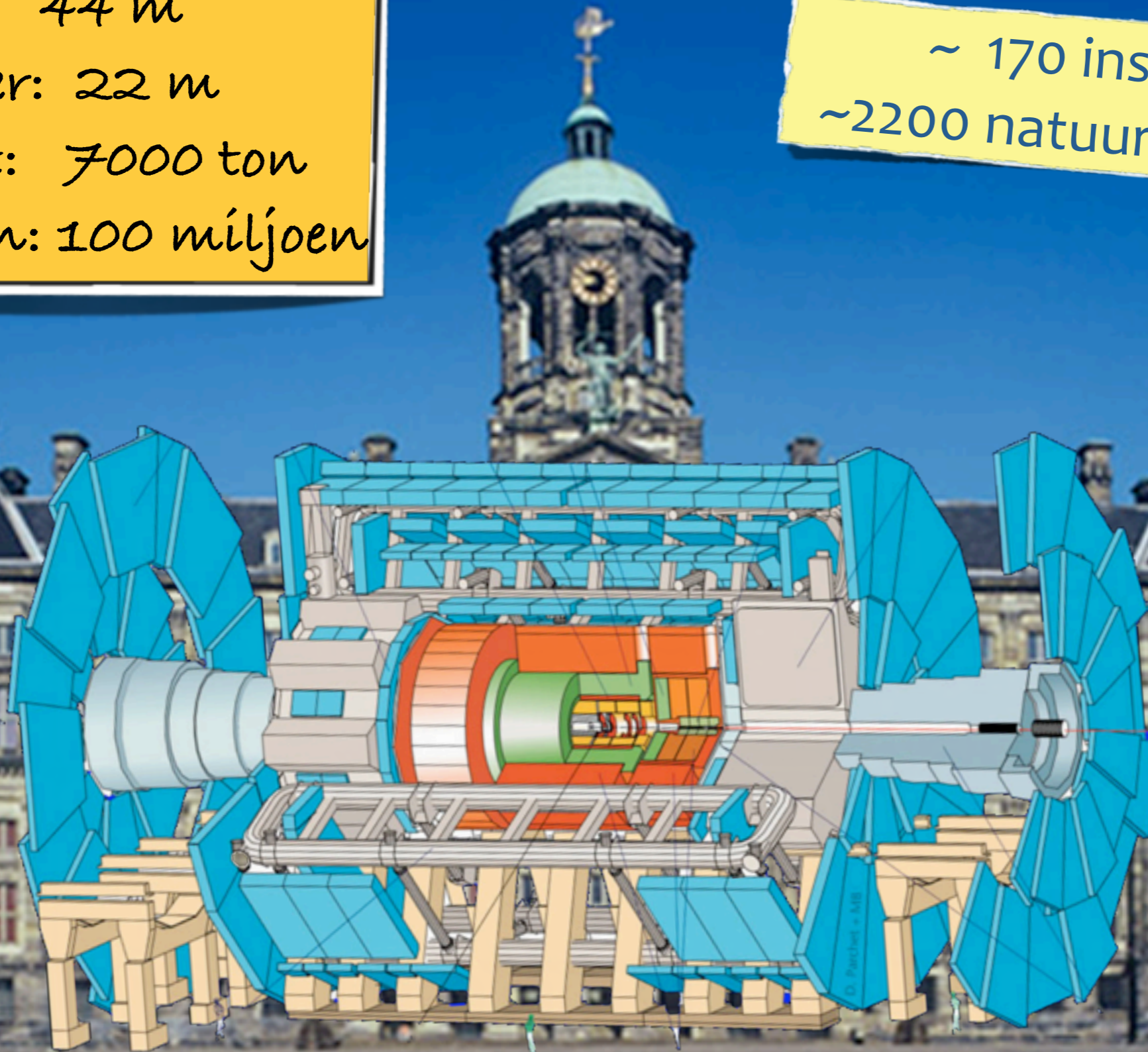
Eerste bekendmaking door CERN dat er sterke aanwijzingen zijn dat het Higgs-deeltje inderdaad bestaat, zoals voorspeld vanaf 1964

Een groot succes voor hen die de visie en de vasthoudendheid hadden om the LHC en de bijbehorende detectoren te bouwen.

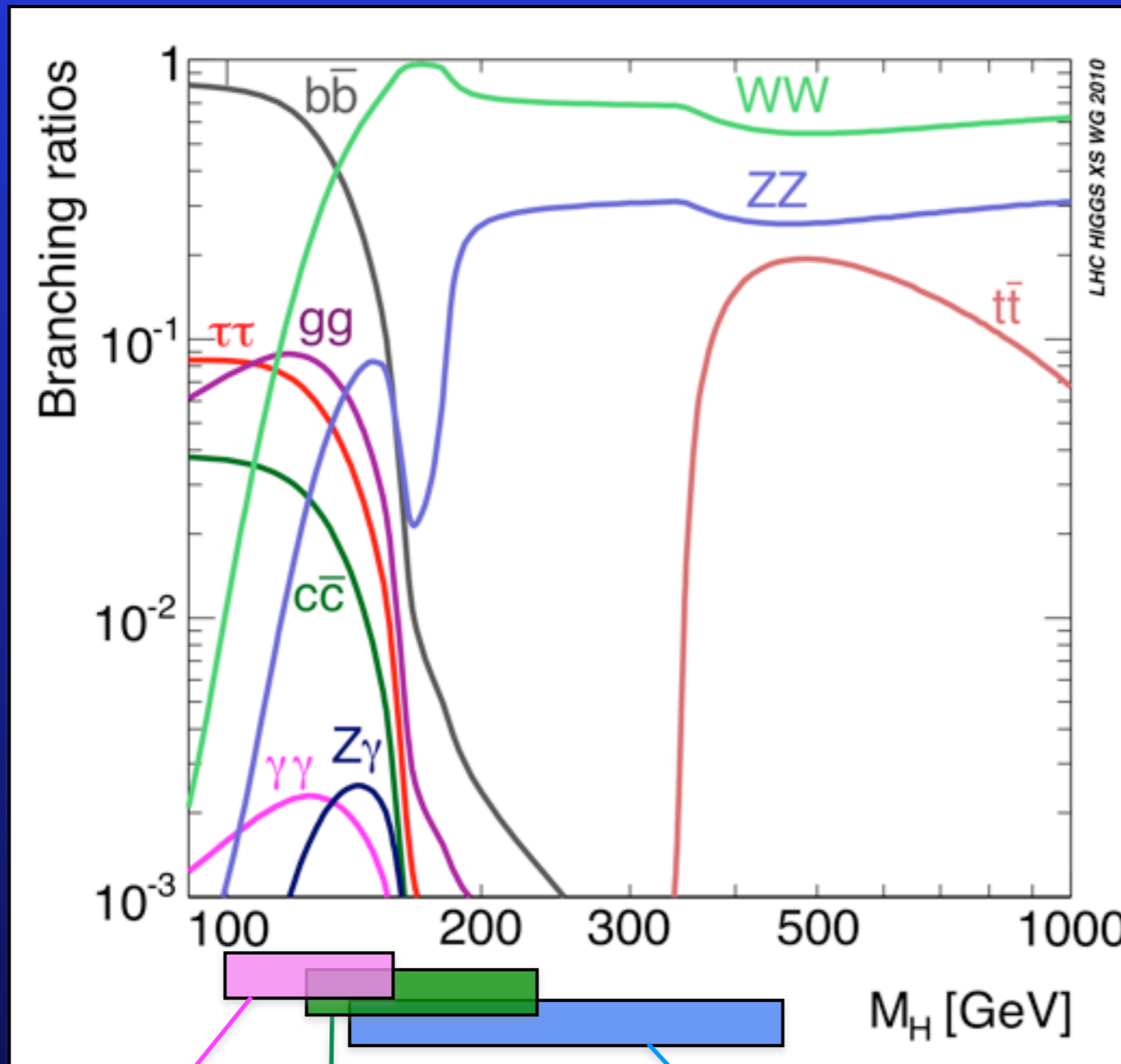
ATLAS: het experiment

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

~ 170 instituten
~2200 natuurkundigen





Het Higgs-deeltje is instabiel: vervalskanalen



niet alle kanalen zijn even belangrijk!

 Fotonen: veel achtergrond
 $H \rightarrow 2$ fotonen

 via W-bosonen: lastig
 $H \rightarrow WW \rightarrow 2$ leptonen en 2 neutrino's

 via Z-bosonen: gouden kanaal
 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptonen

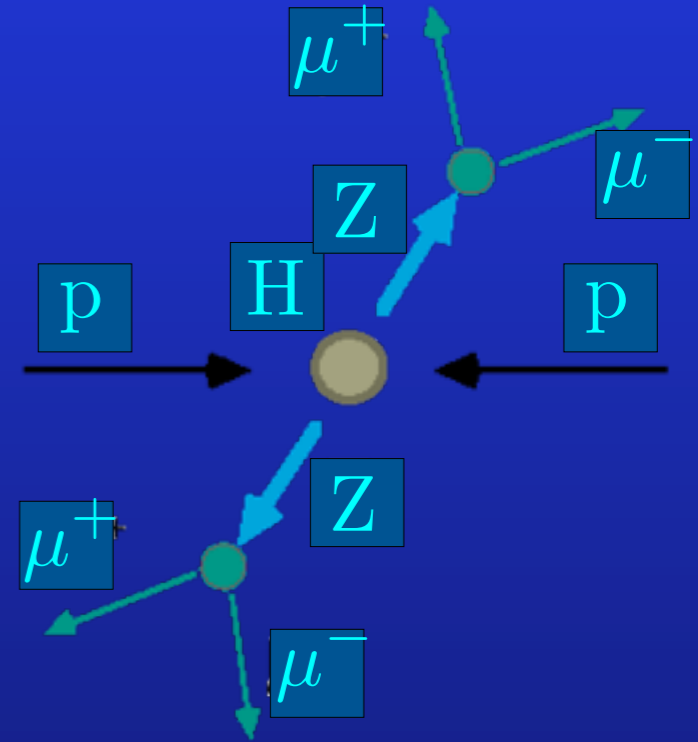
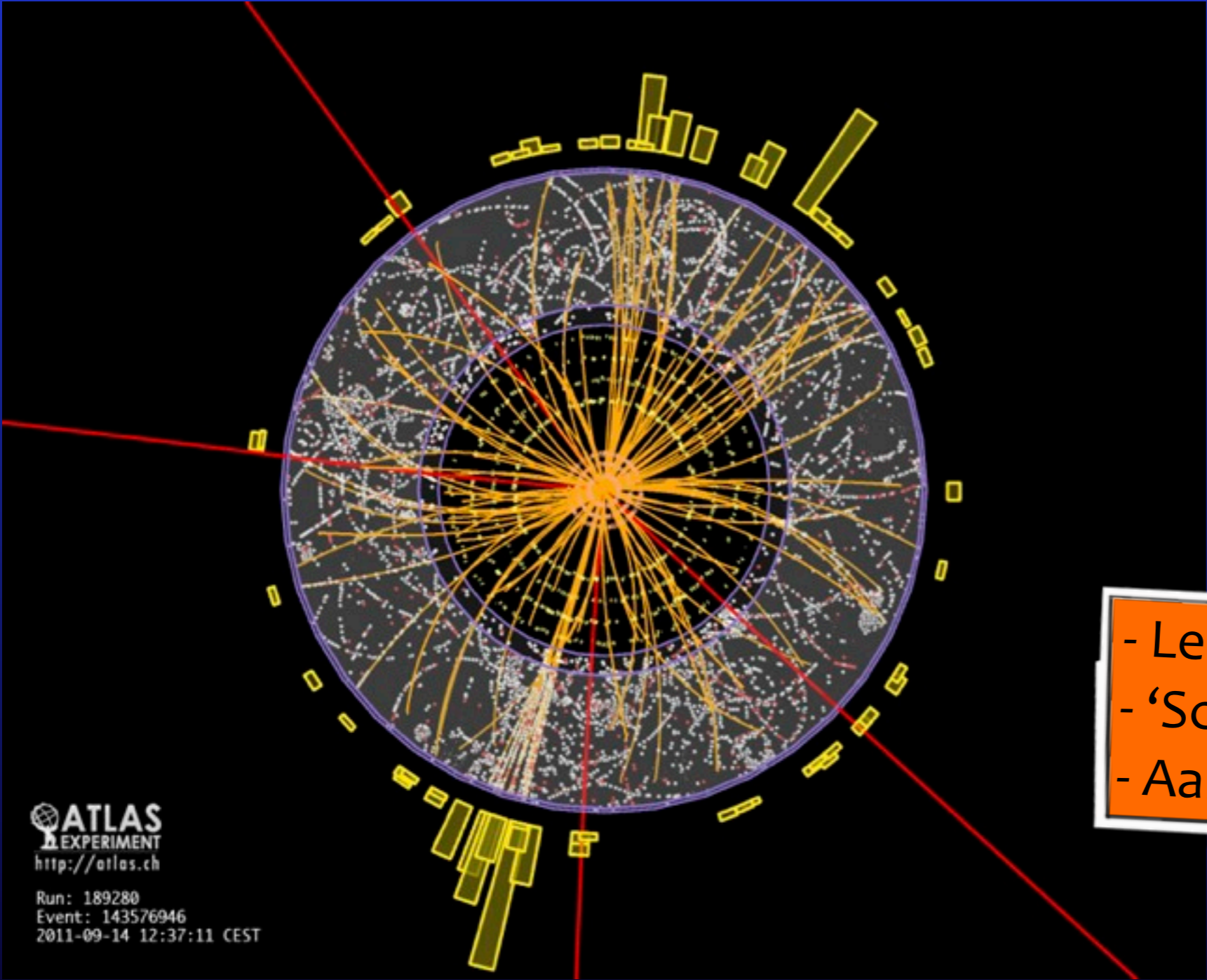
$H \rightarrow 2$ fotonen

$H \rightarrow WW \rightarrow 2$ leptonen en 2 neutrino's

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptonen

Verval van Higgs-deeltje naar leptonen:

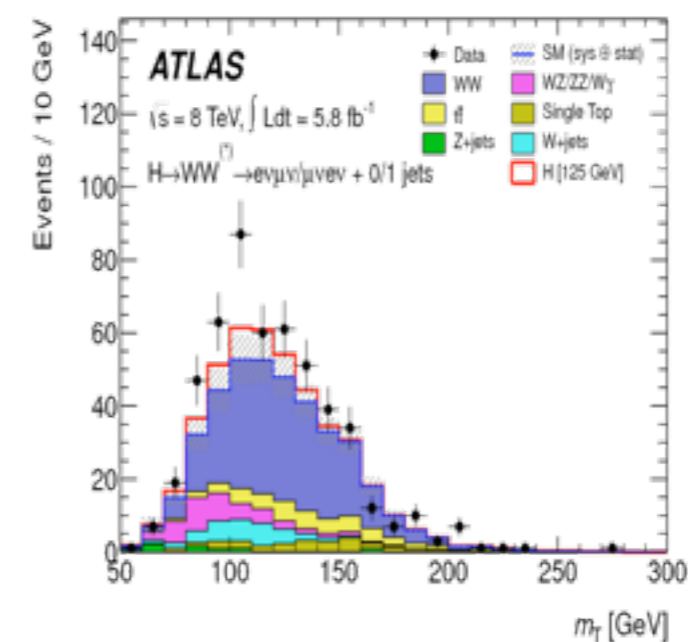
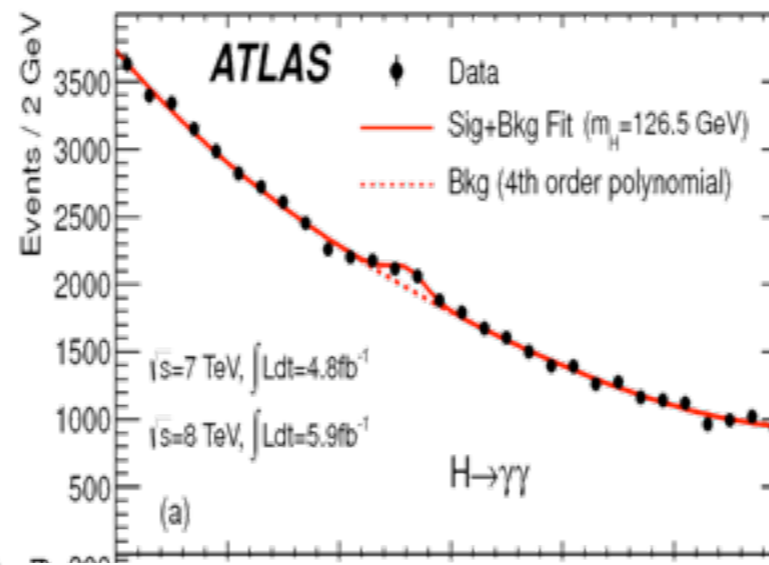
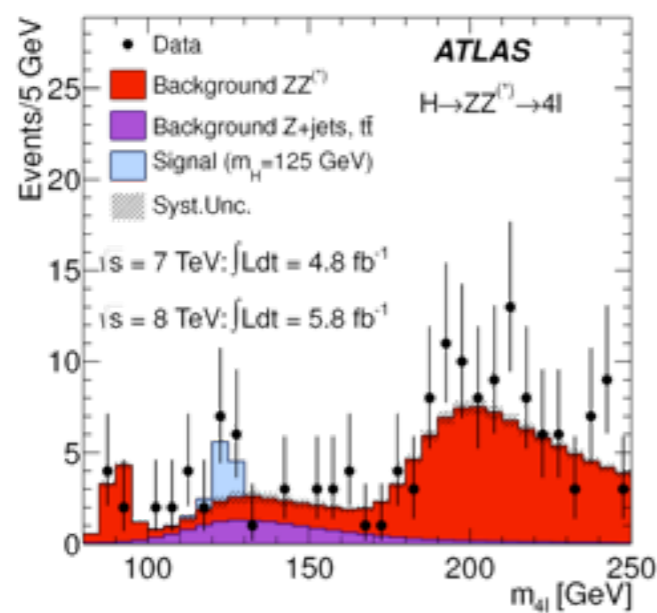
Dubbel verval via twee Z-bosonen



- Leptonen goed te meten
- 'Schoon' signaal
- Aantal is klein!

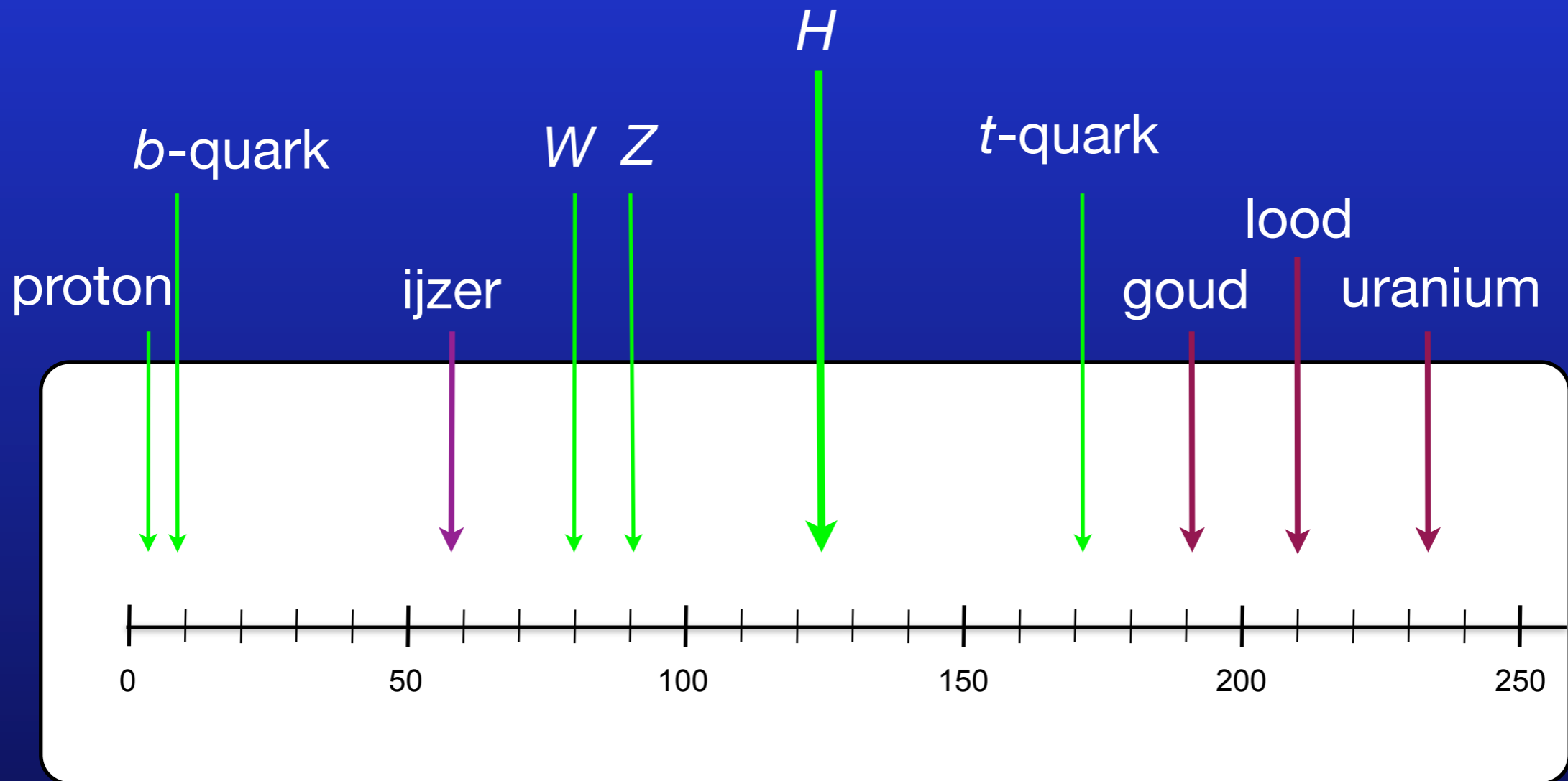
Statistiek en ontdekking

Simultane analyse van alle vervalskanalen:
bereken kans dat piek op dezelfde plek in alle kanalen tegelijk voorkomt.



Kans voor alle piekjes toevallig hier 1:1.000.000.000 ('5.9 sigma')
Kans voor alle piekjes toevallig ergens 1:3.500.000 ('5 sigma')

Higgs massa: 126.3 GeV/c²



**ER IS NOG VEEL TE DOEN!
EN ER ZIJN NIEUWE VRAGEN.**

Is er meer dan het Standaard Model alleen?

donkere "materie"
96%



'Standaard Model' deeltjes:
quarks en leptonen

Botsing van
twee sterrenstelsels



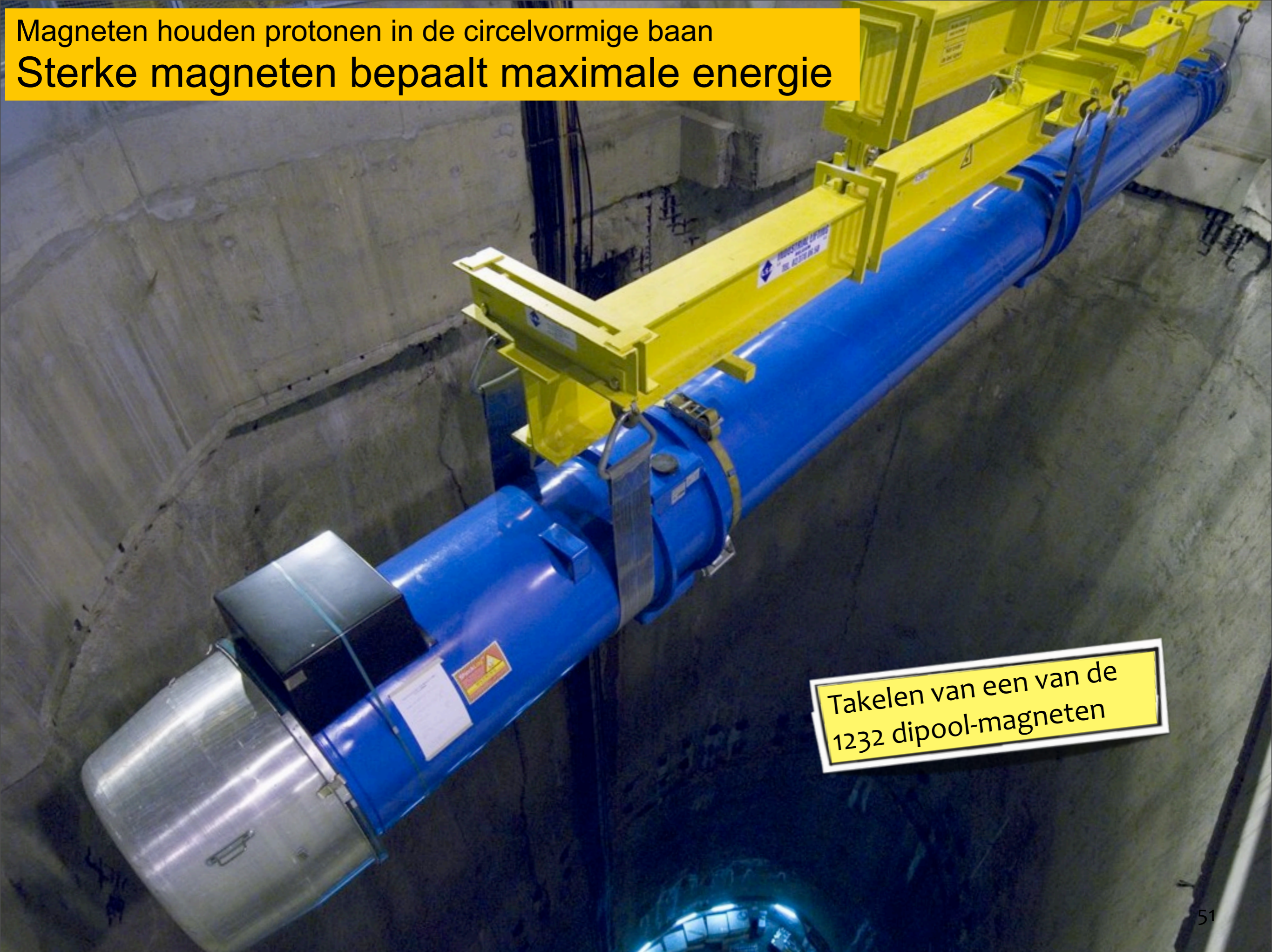
Enorme hoeveelheid 'exotische materie' in heelal
Laat deze materie zich kennen in de LHC?

De LHC, hoe?



March 2005: The first superconducting magnet is transported to its final location in the LHC tunnel using a specially designed vehicle. Once they have been lowered down the specially constructed shaft, they begin a slow progression to their final destinations in the LHC tunnel, taking about 10 hours to arrive at the furthest point on the LHC ring.

Magneten houden protonen in de circelvormige baan
Sterke magneten bepaalt maximale energie



Takelen van een van de
1232 dipool-magneten



26 april 2007:
de laatste van de
1232 supergeleidende dipoolmagneten
komt in de tunnel aan.

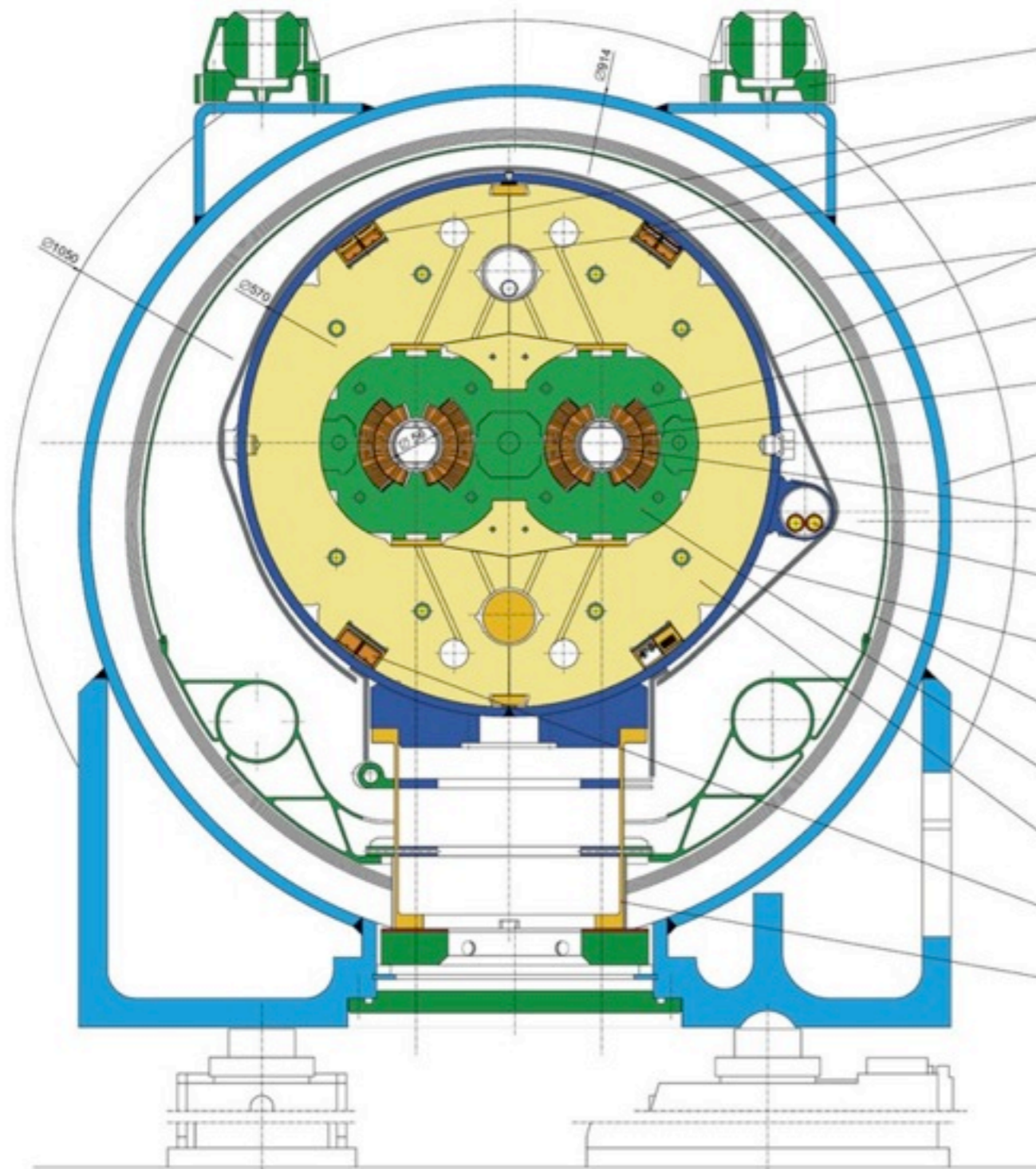
June 2006: A worker inside the LHC tunnel. Technicians and engineers worked days and nights, carefully installing 20 magnets a week between 7 March 2005 and 26 April 2006.



Bundelbuizen en Magneten

LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION

CERN AC/DE/MM - HE107 - 30 04 1999



dipoolmagneten houden de deeltjesbundels op de cirkelbaan

twee bundelbuizen ingebed in supergeleidende magneten

vacuüm in de bundelbuizen: 10^{-13} atm

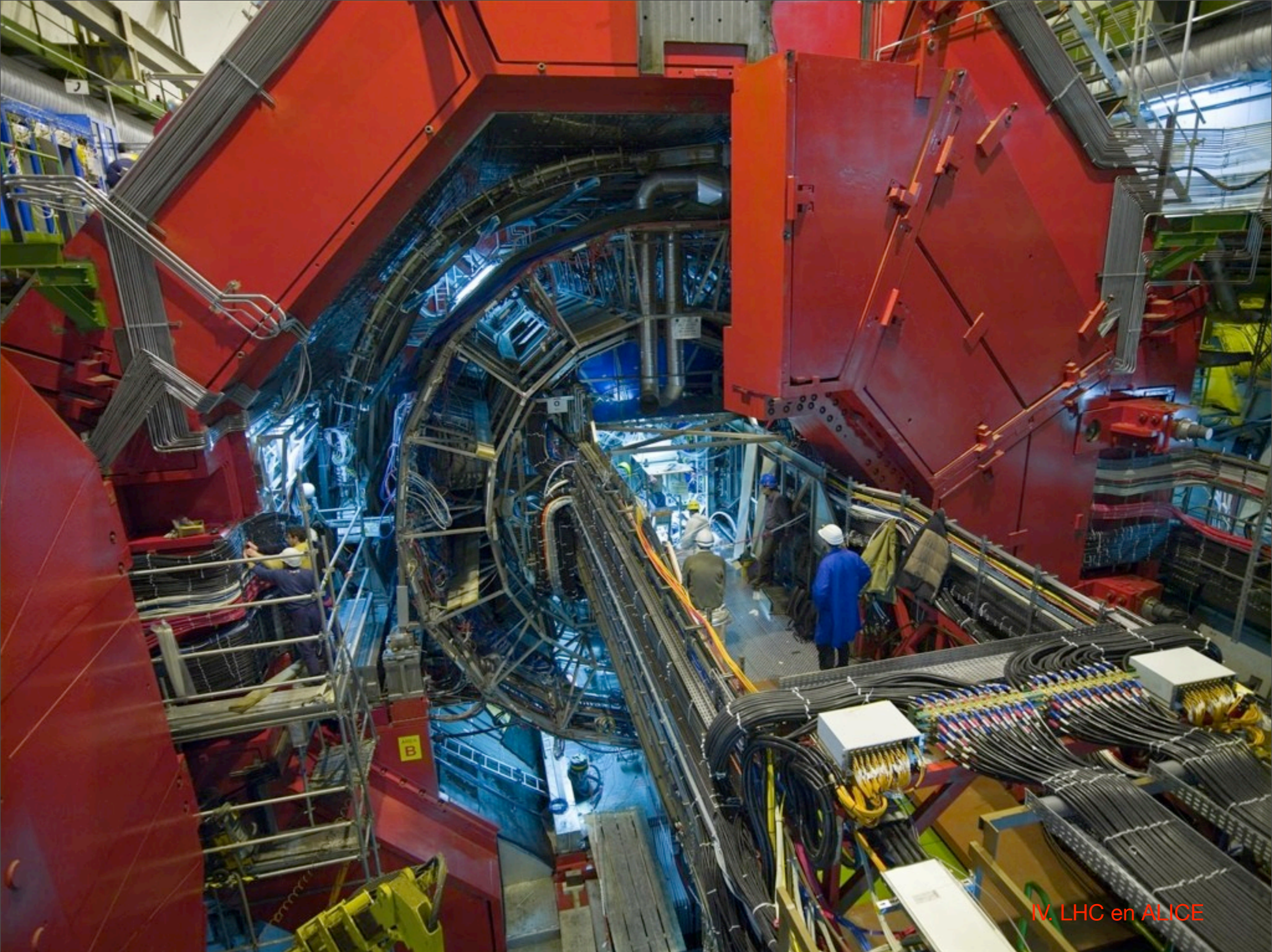
9500 magneten

koelsysteem: 120 ton helium bij -271.3°C

11245 rondjes per seconde

100 biljoen deeltjes per bundel

600 miljoen botsingen per seconde



IV. LHC en ALICE

