

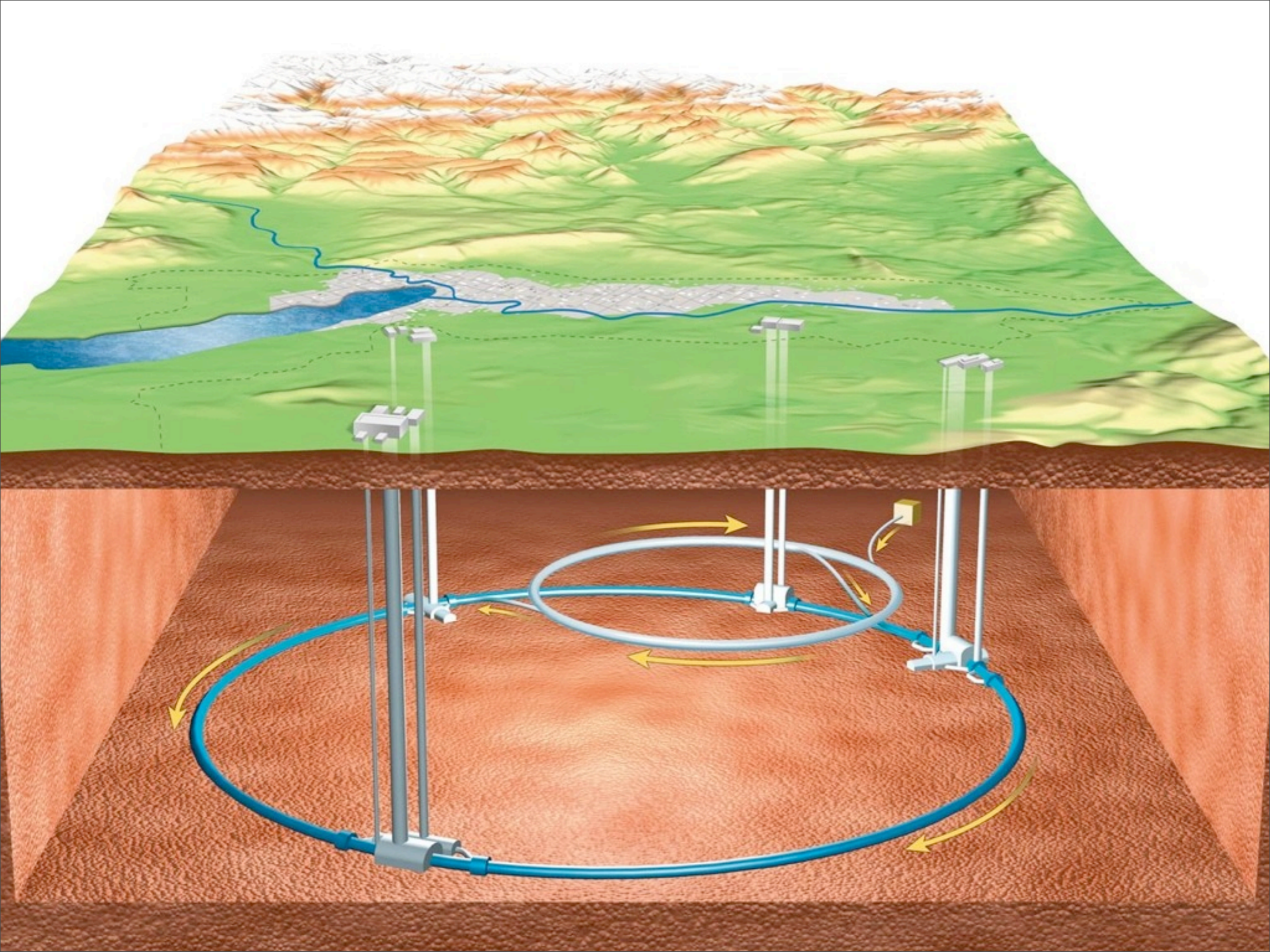
De LHC deeltjesversneller: waarom en hoe?



Bernard de Wit

Nikhef Amsterdam
Universiteit Utrecht

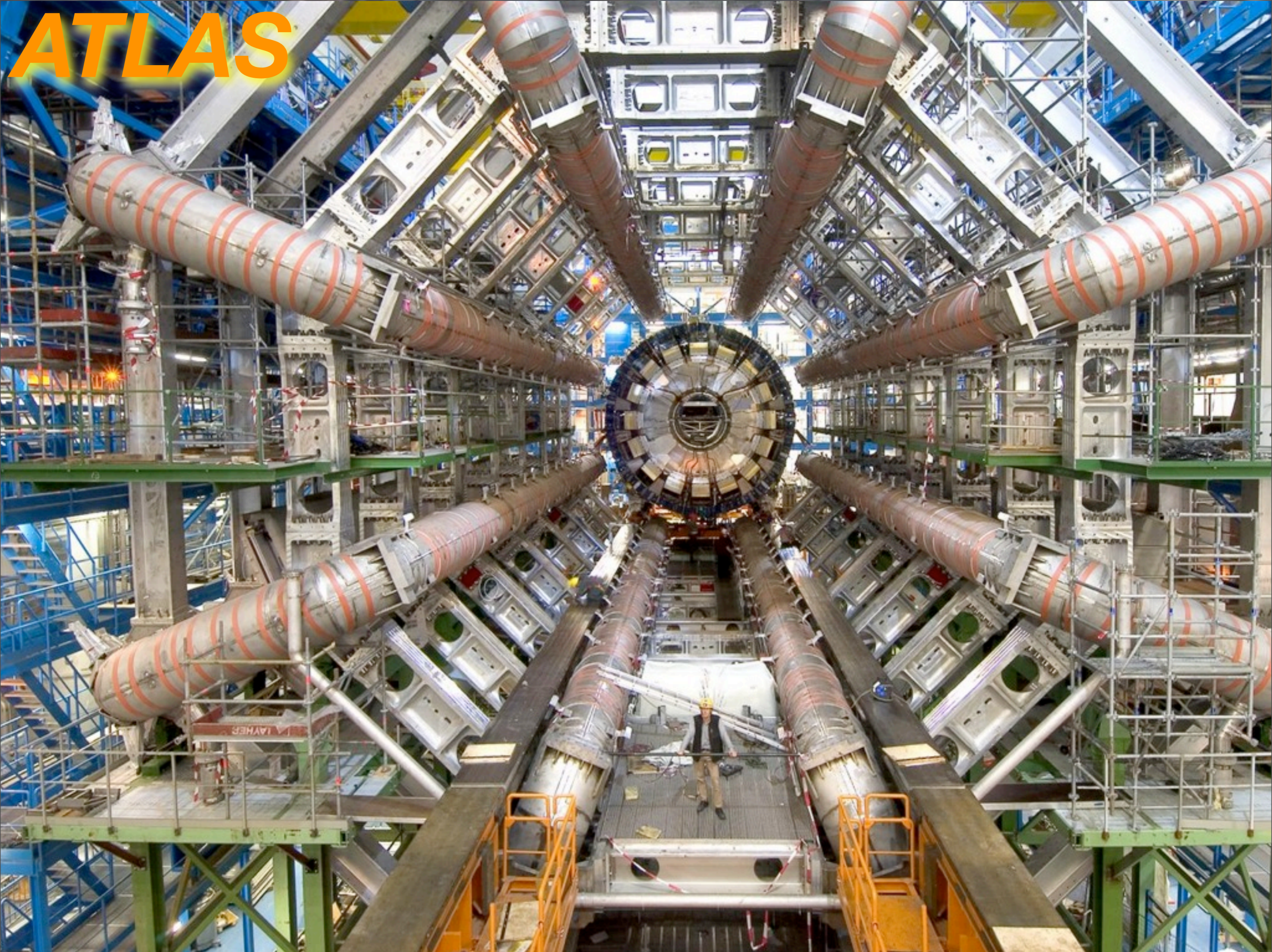
IC-67 Vught, 21 juni 2012



De LHC versnellertunnel



ATLAS



Sunday 17 June 2012

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.

De LHC, waarom?

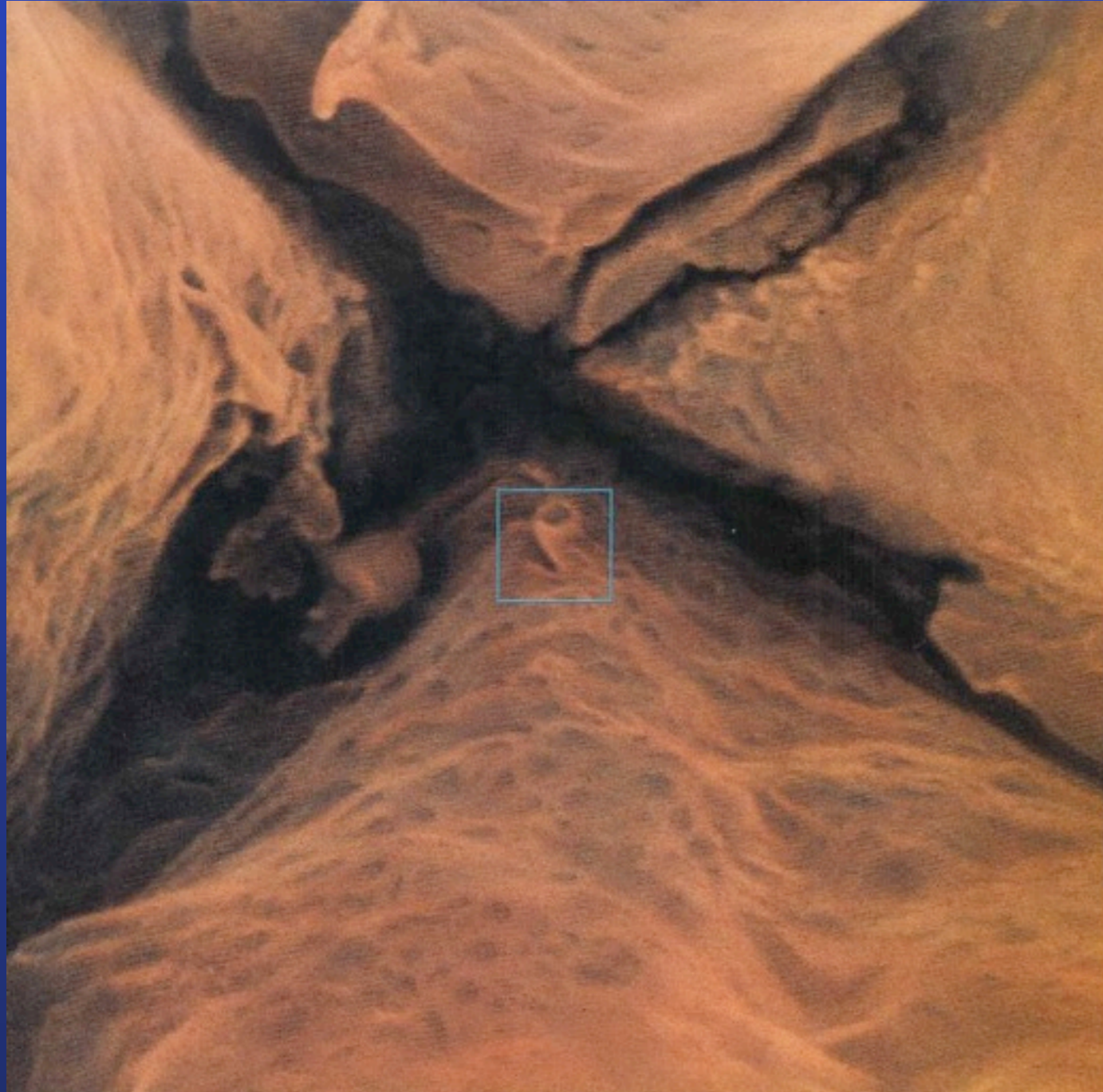
HOE KLEIN IS KLEIN?
Elementaire deeltjes en
fundamentele krachten

Hoe klein is klein?



hand:
0.1 meter

Hoe klein is klein?



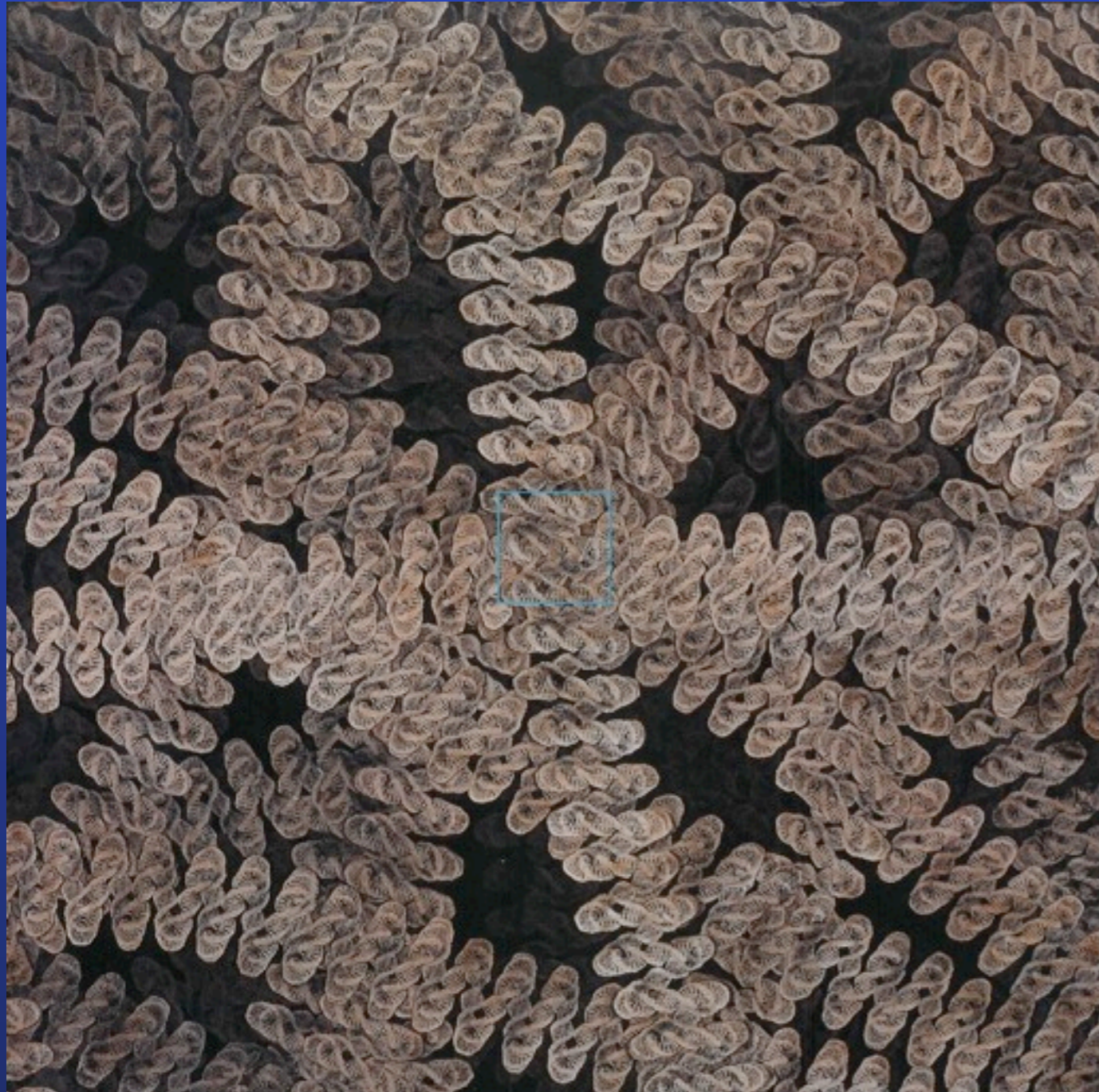
hand:

0.1 meter

weefsel:

0.0001 meter

Hoe klein is klein?



hand:

0.1 meter

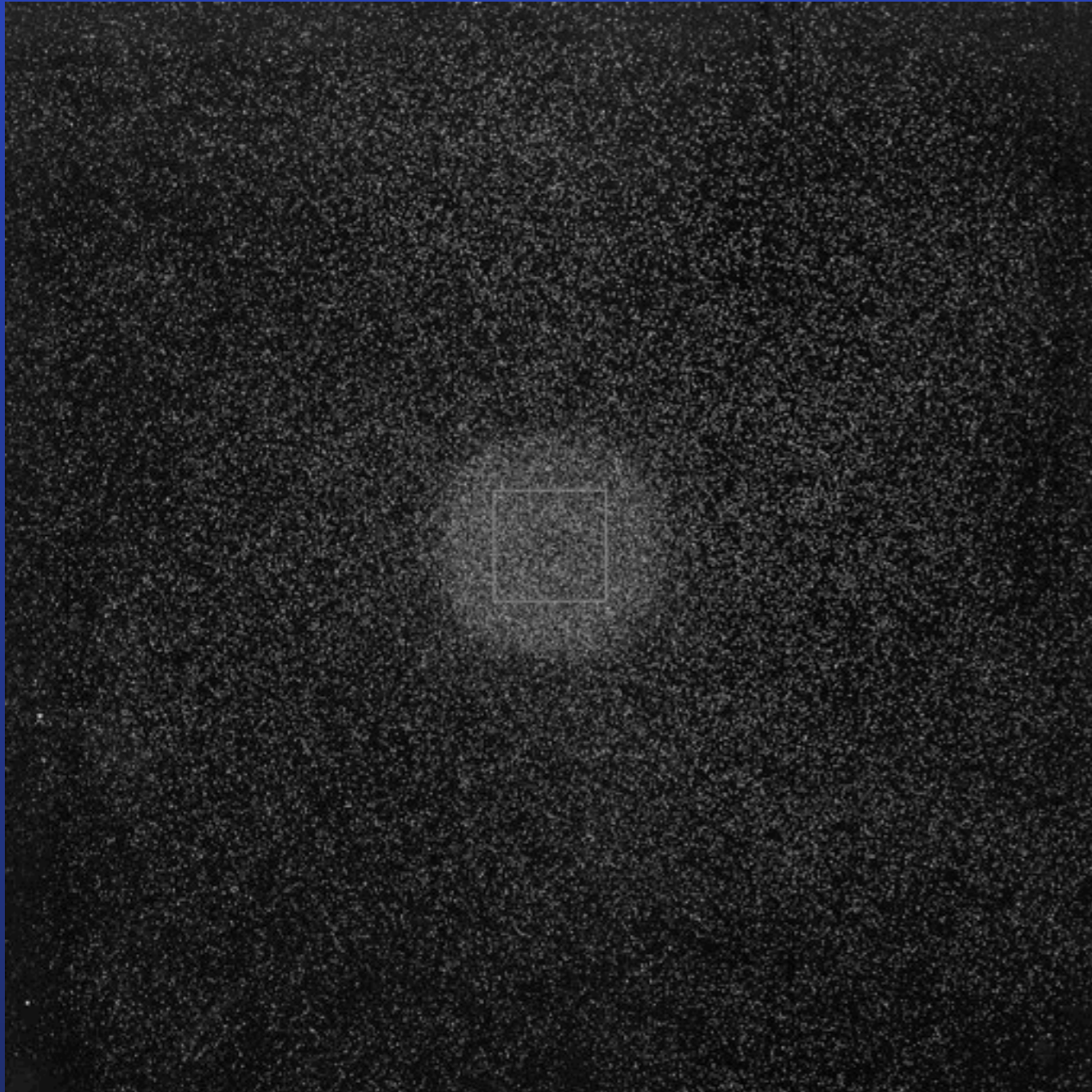
weefsel:

0.0001 meter

DNA-molecuul:

0.0000001 m = 100 nanometer

Hoe klein is klein?



hand:

0.1 meter

weefsel:

0.0001 meter

DNA-molecuul:

0.0000001 m = 100 nanometer

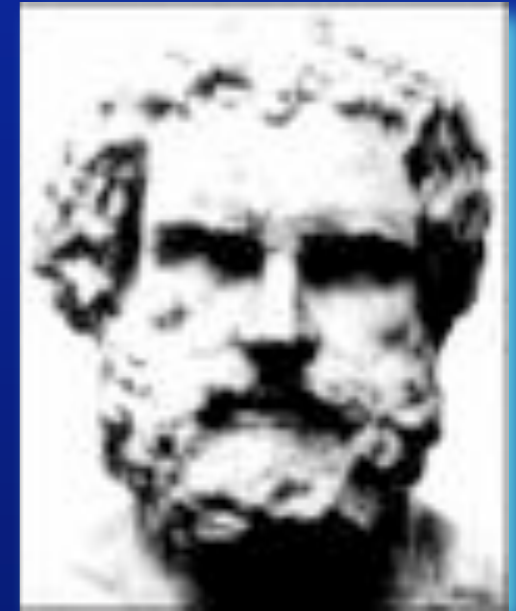
atoom:

0.0000000001 m = 0.1 nm

Elementaire bouwstenen

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

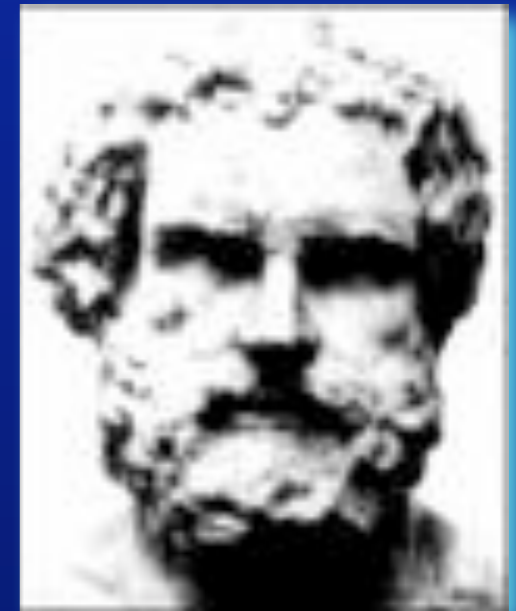
alles bestaat uit **atomen**
ondeelbare bouwstenen
in een **lege ruimte**



Elementaire bouwstenen

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

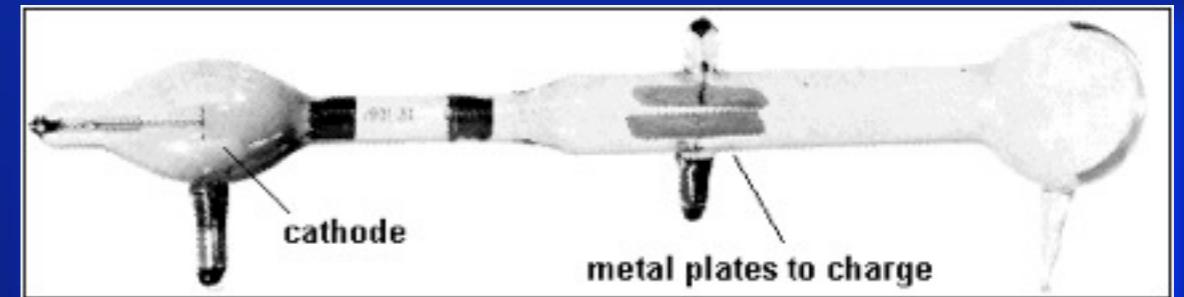
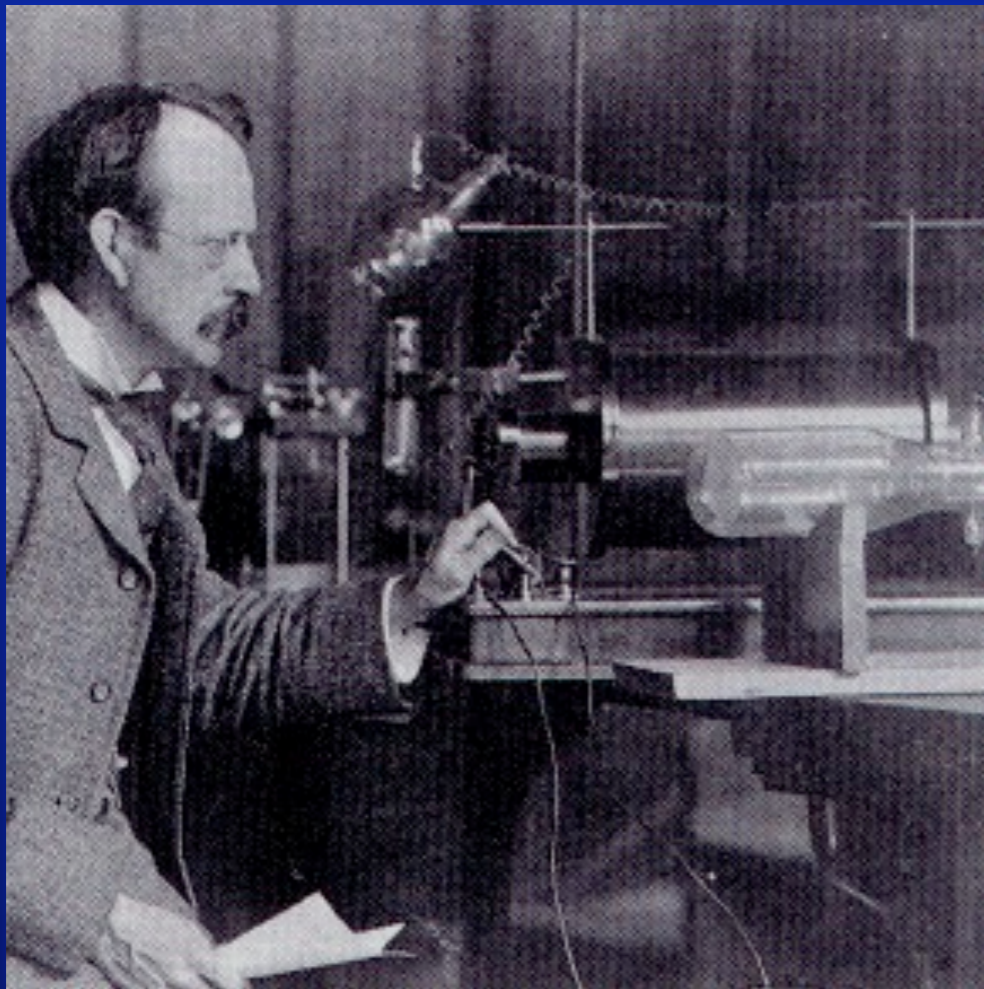
alles bestaat uit **atomen**
ondeelbare bouwstenen
in een **lege ruimte**



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

en in het dagelijks leven

elektrisch licht



en in het dagelijks leven

elektrisch licht



elektromotor



en in het dagelijks leven

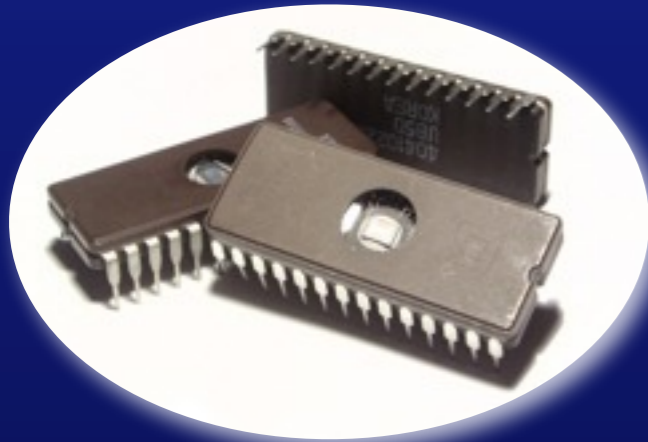
elektrisch licht



elektromotor



computerchip



en in het dagelijks leven

elektrisch licht



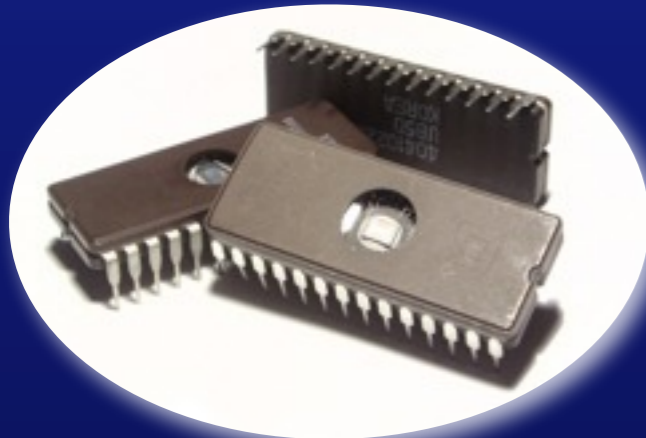
elektromotor



supercomputer



computerchip



en in het dagelijks leven

elektrisch licht



mobiel



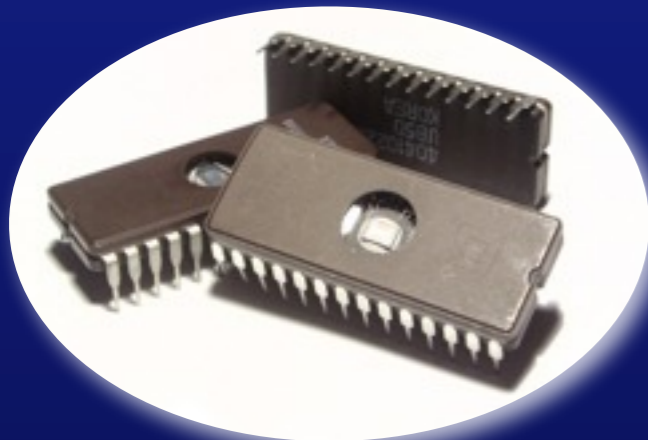
elektromotor



supercomputer



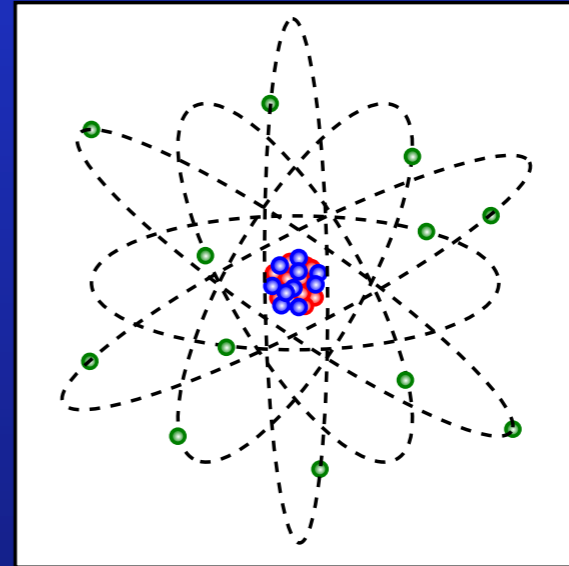
computerchip



Terug naar het atoom

Het atoom bestaat grotendeels uit lege ruimte!

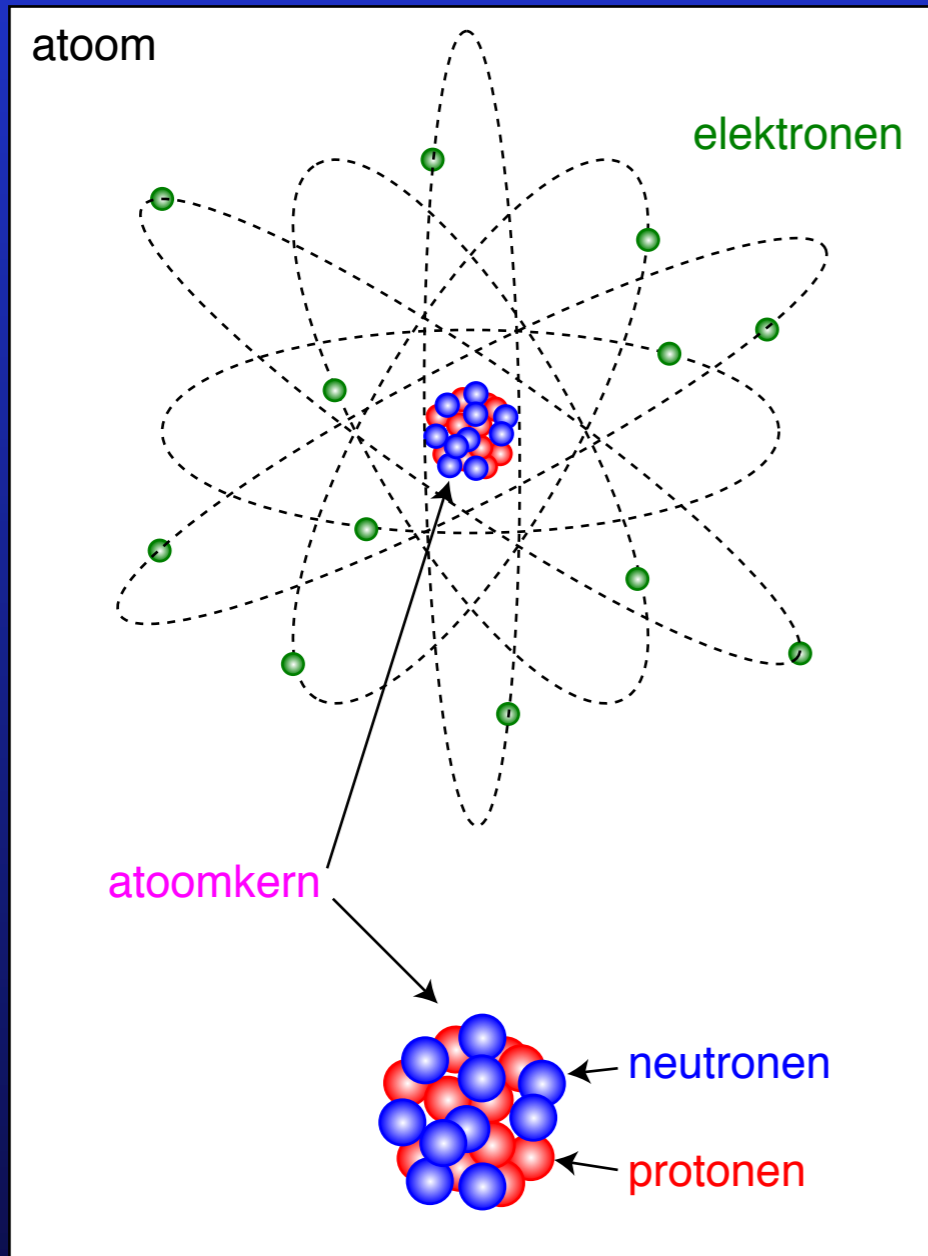
- ▶ een positief geladen kern
- ▶ een wolk van elektronen



als een zonnestelsel: bij elkaar
gehouden door de elektrische kracht

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

De atoomkern

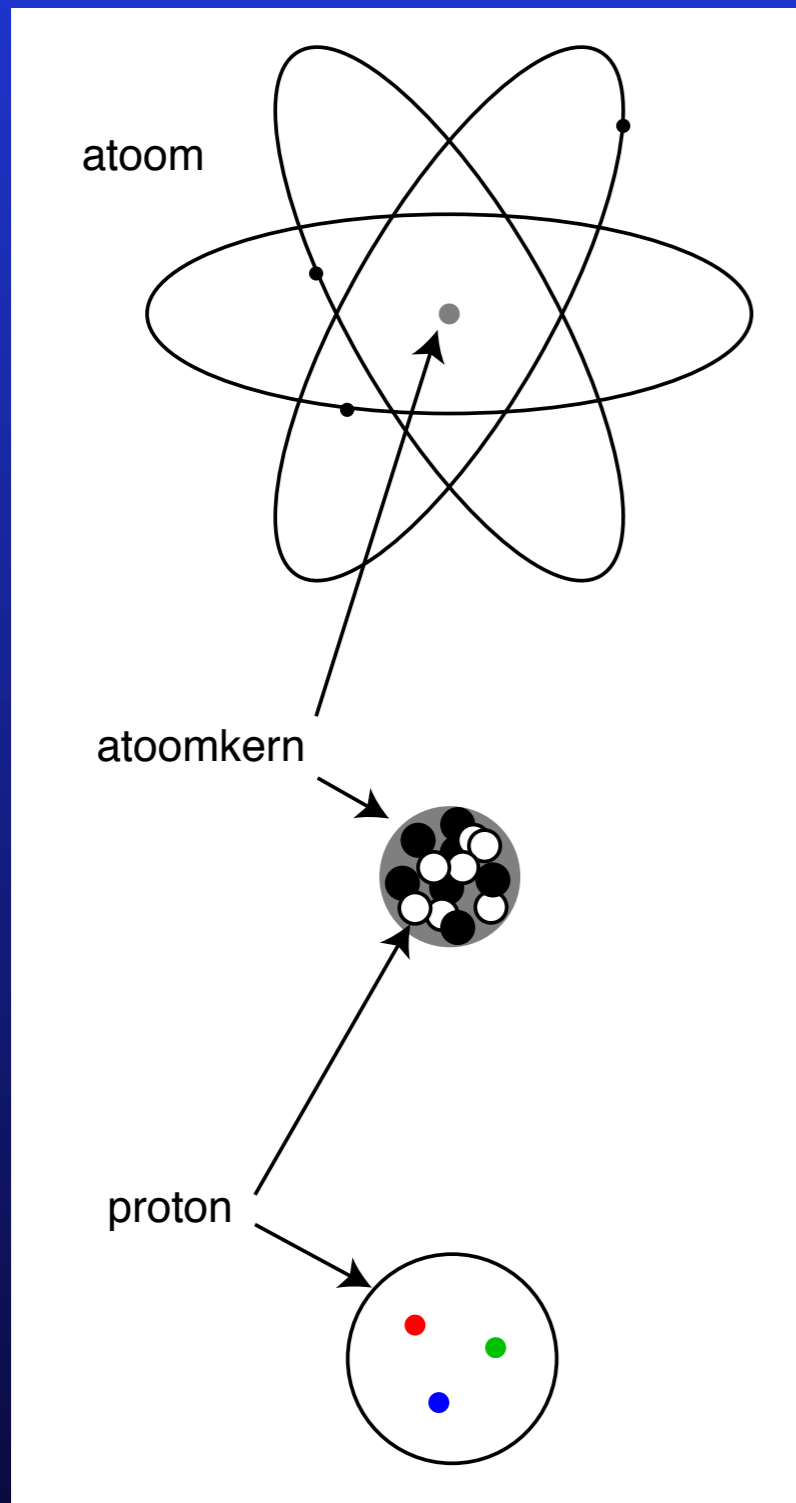


De positief geladen atoomkern bestaat uit twee soorten deeltjes:

Protonen en **Neutronen**

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

Quarks en de sterke kracht



Protonen en neutronen bestaan uit quarks.

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

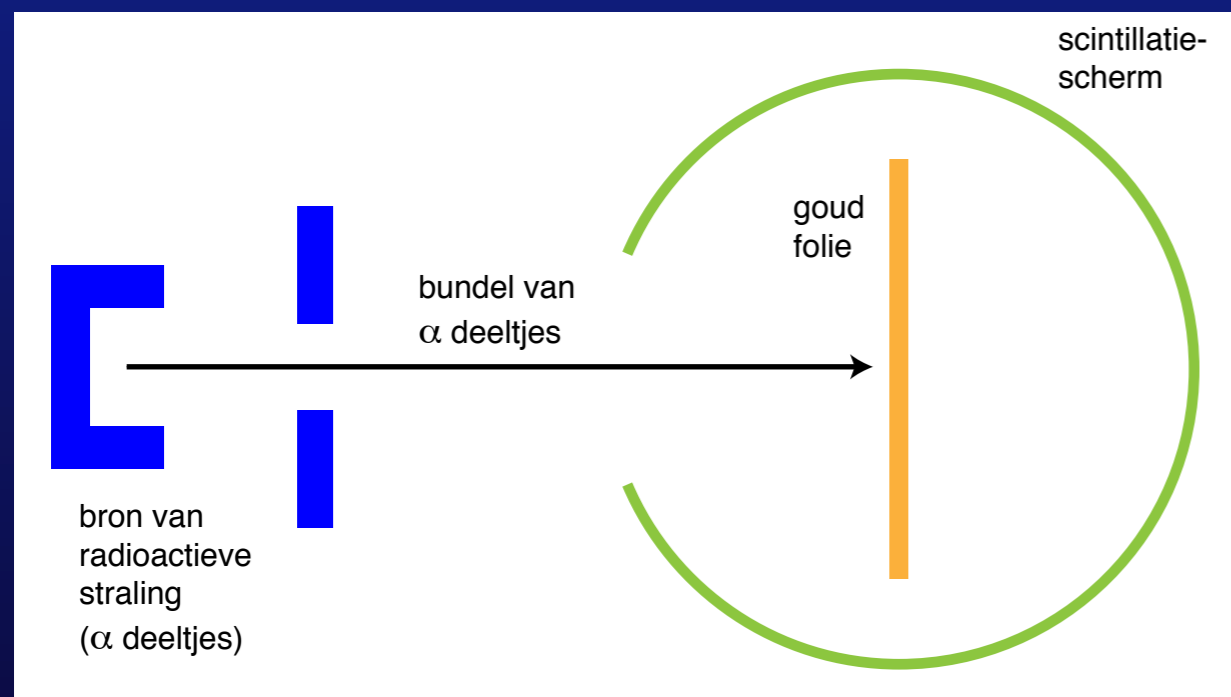
Ontdekt met een moderne variant van het Rutherford experiment

10^{-16} meter = 0.0000000000000001 meter

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



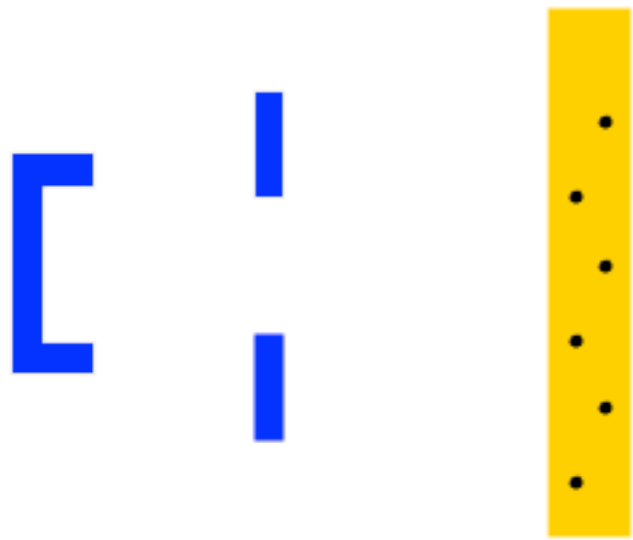
meeste deeltjes worden
niet afgebogen

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

Rutherford Experiment



meeste deeltjes worden
niet afgebogen

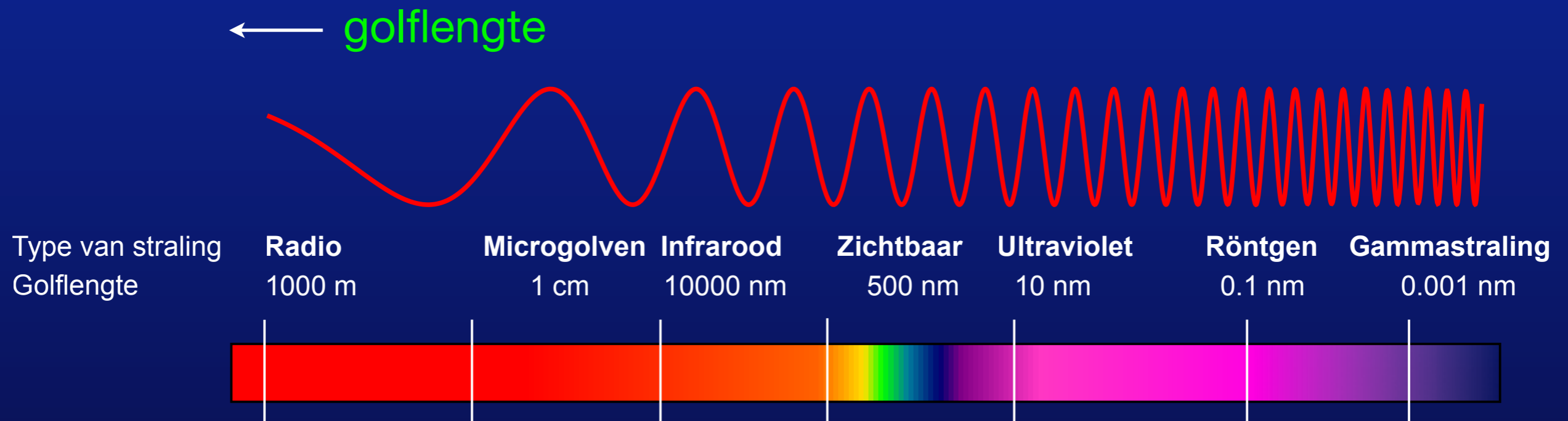
1 per 8000 deeltjes wordt
wel afgebogen

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!

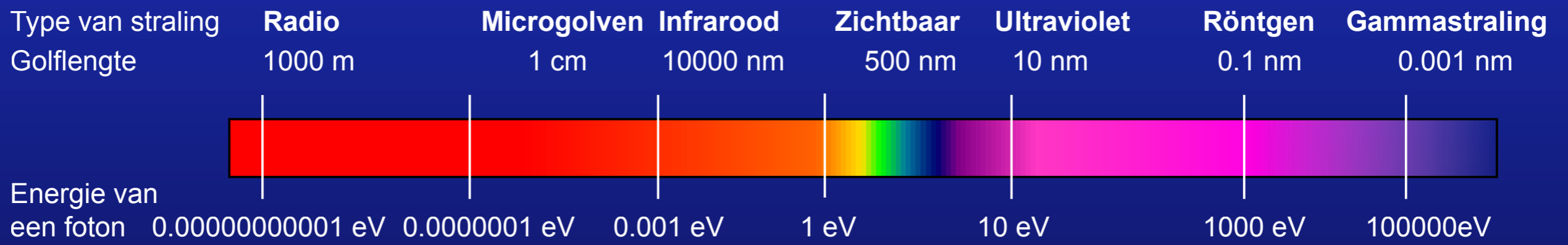
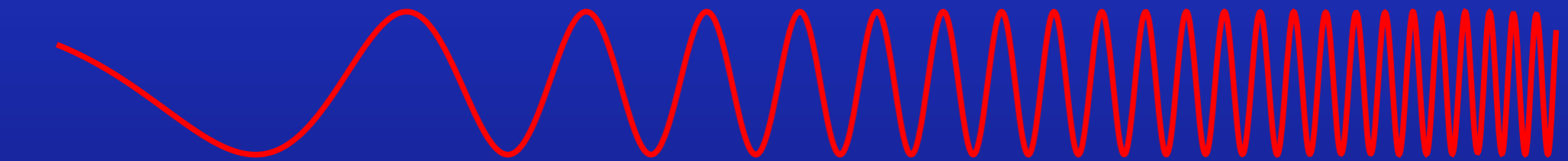
Het lichtdeeltje is het **foton**

Het foton beweegt met de snelheid van het licht.

golf ← **foton** → **kracht**

Het foton

← golflengte



foton energie →

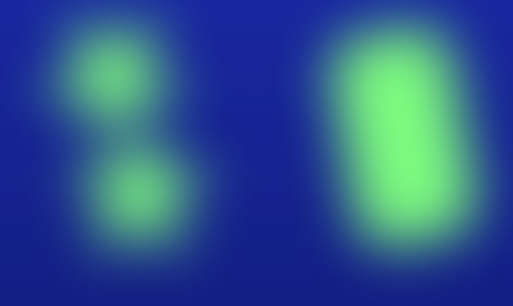
Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



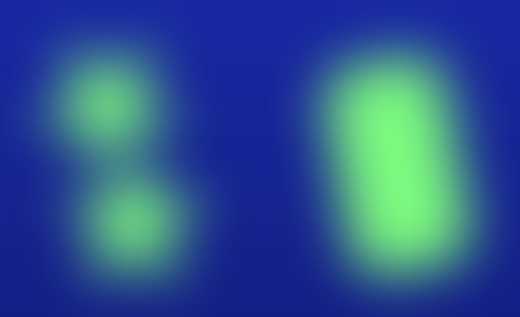
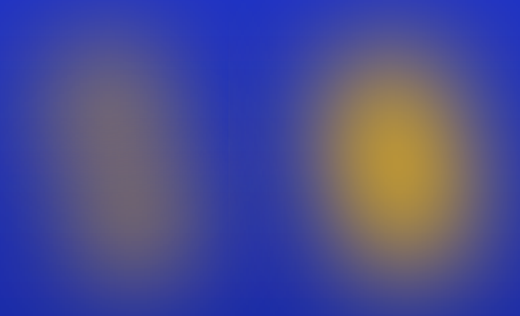
Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



kleine golflengte
grote energie

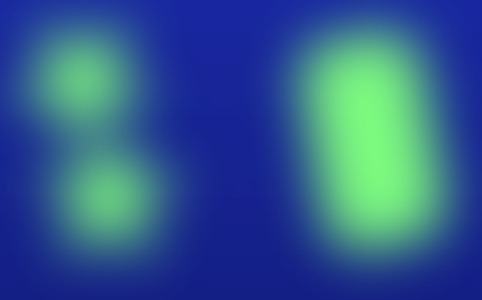


Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



bepalende factor:
golflengte



kleine golflengte
grote energie

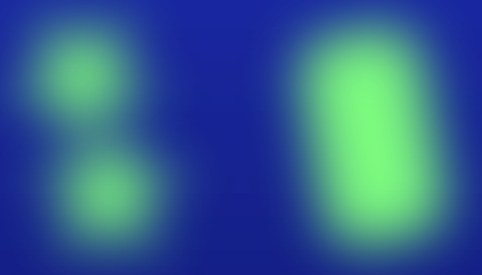


Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



bepalende factor:
golflengte



kleine golflengte =
hoge energie



kleine golflengte
grote energie

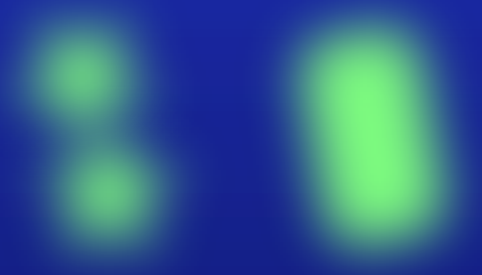


Scheidend vermogen

grote golflengte
kleine energie



bepalende factor:
golflengte



kleine golflengte =
hoge energie

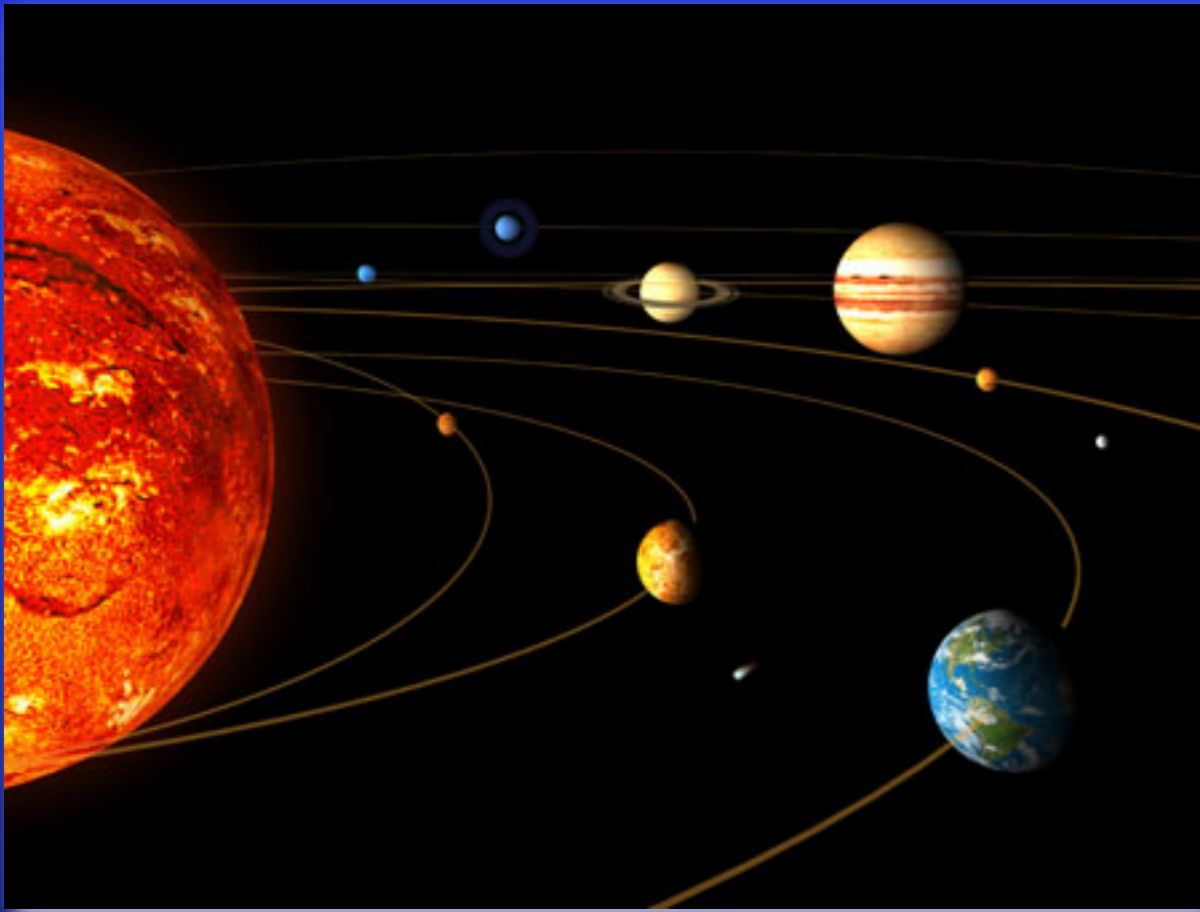


kleine golflengte
grote energie



groot scheidend
vermogen vereist
hoge energie en dus
grote apparatuur

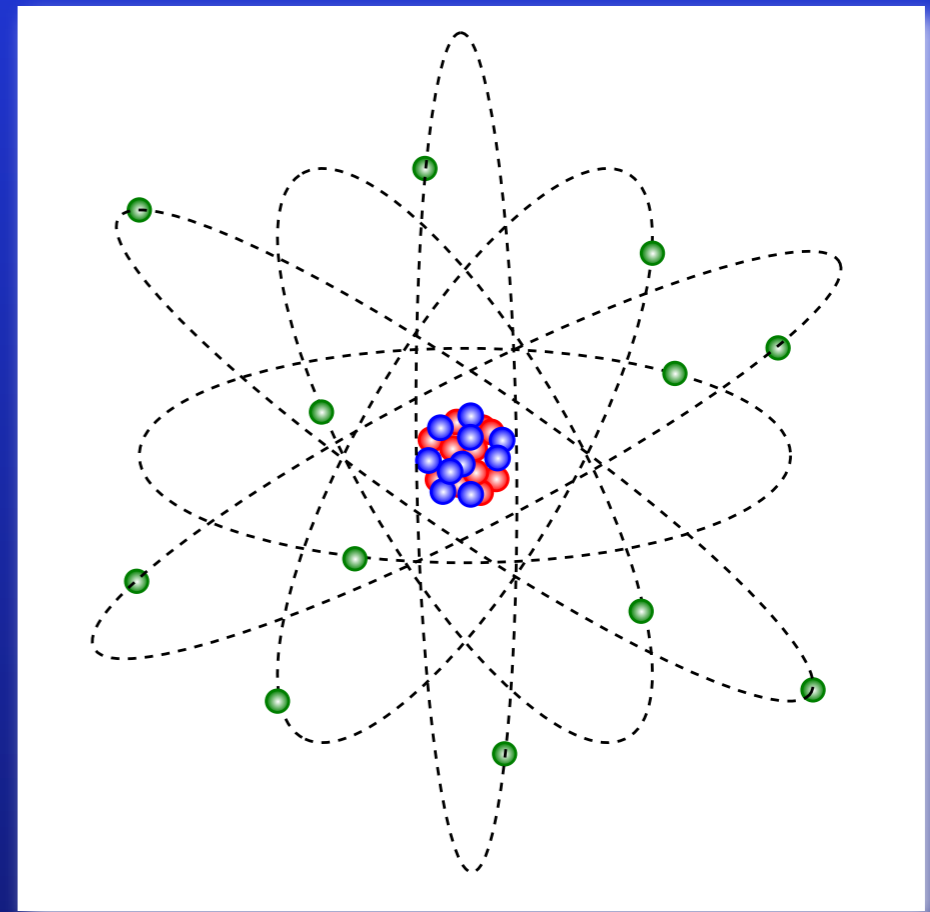
Verschillende krachten



Zonnestelsel bij elkaar
gehouden door de
zwaartekracht.

sterkte: gegeven door massa/lading

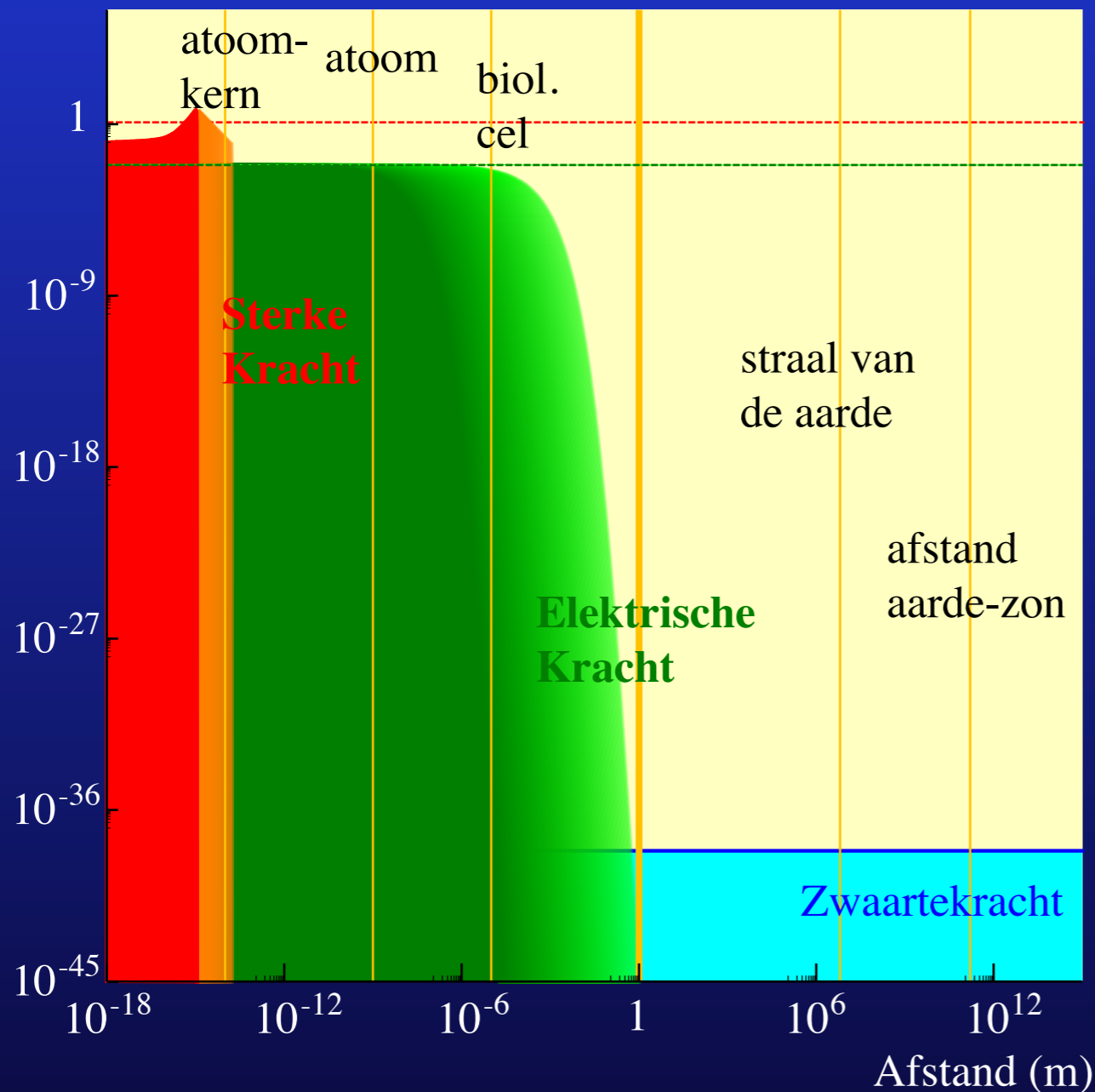
lange dracht: voelbaar op lange afstand



Atoom bij elkaar
gehouden door de
elektrische kracht.

Hierarchie van krachten

Sterkte van
de Kracht



Verschillende krachten zijn belangrijk op verschillende afstandsschalen.

Alle krachten, behalve de zwaartekracht, verdwijnen op grotere afstand door neutralisatie.

Fundamentele krachten

- Elektromagnetische kracht
- Zwaartekracht
- Sterke kracht
- Zwakke kracht

Fundamentele krachten

- Elektromagnetische kracht (foton)
- Zwaartekracht
- Sterke kracht
- Zwakke kracht

Fundamentele krachten

- Elektromagnetische kracht (foton)
- Zwaartekracht (graviton)
- Sterke kracht
- Zwakke kracht

Fundamentele krachten

- Elektromagnetische kracht (foton)
- Zwaartekracht (graviton)
- Sterke kracht (gluon)
- Zwakke kracht

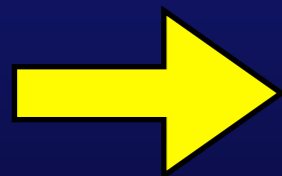
Fundamentele krachten

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

Hadronen en Leptonen

Hadronen: quarks en gluonen

Leptonen: elektronen,
neutrino's



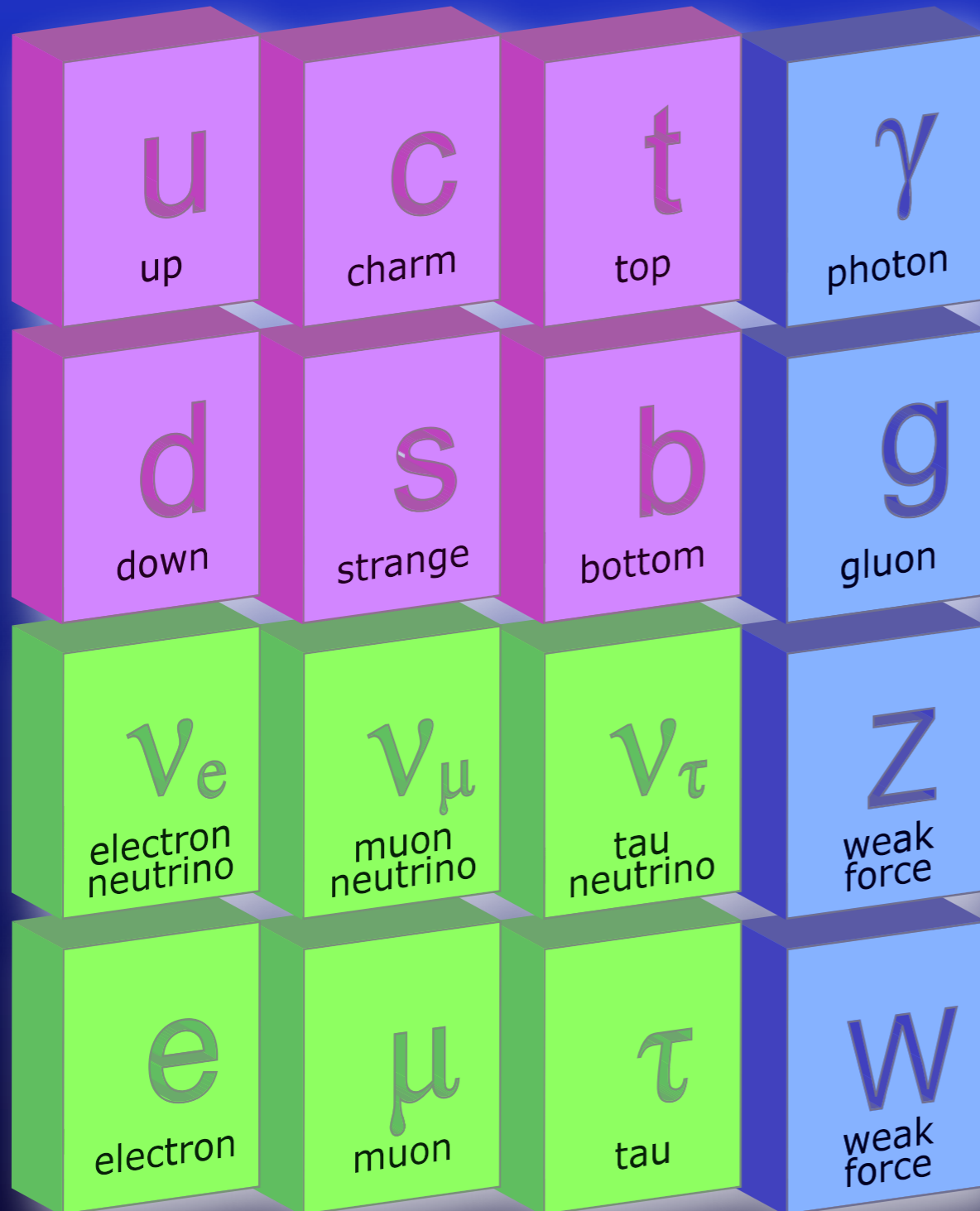
Het Standaard Model

combineert de quantummechanica met de relativiteitstheorie

Het Standaard Model

Drie Generaties van Materie

Quarks



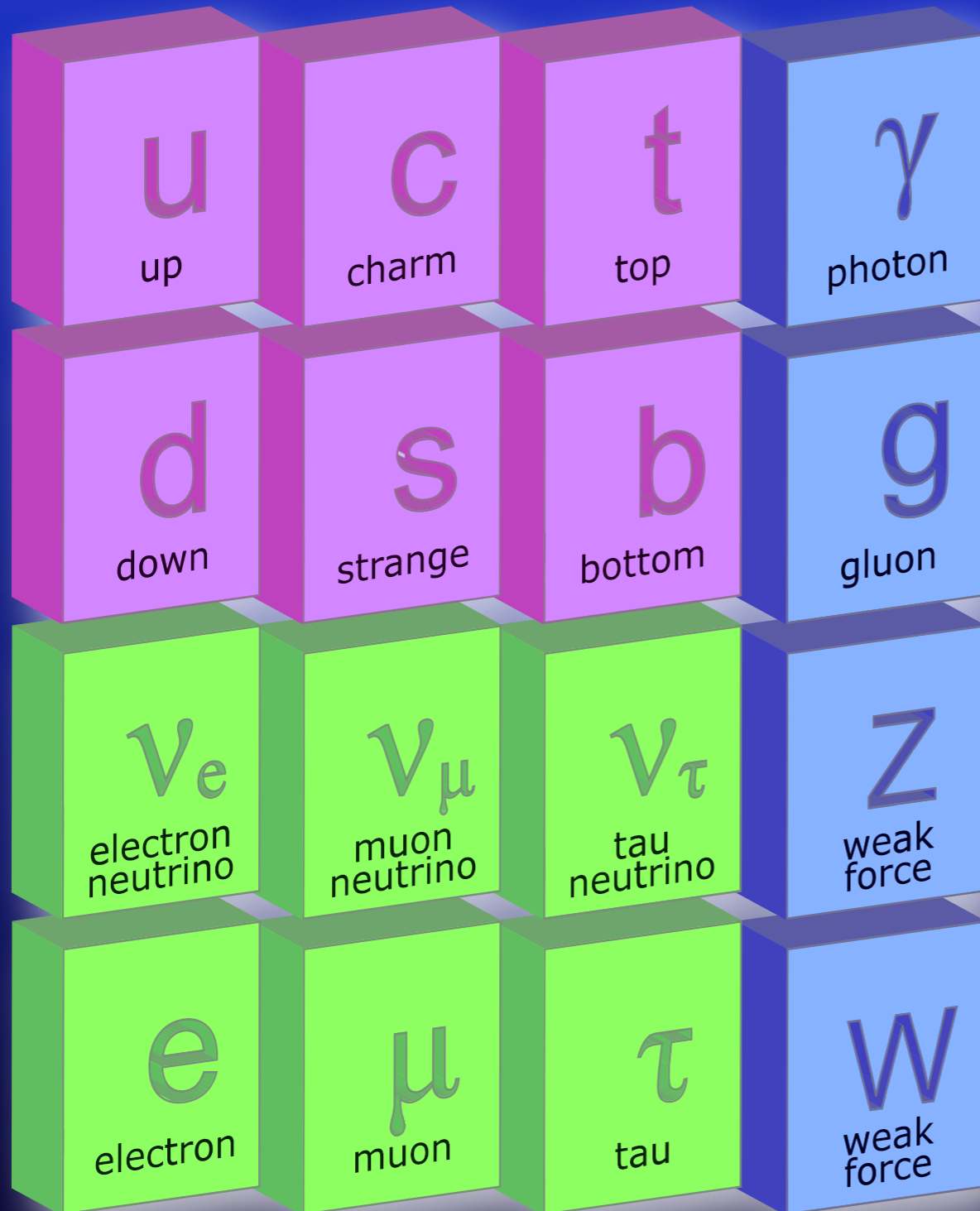
Leptonen

Bosonen (Krachten)

Het Standaard Model

Drie Generaties van Materie

Quarks



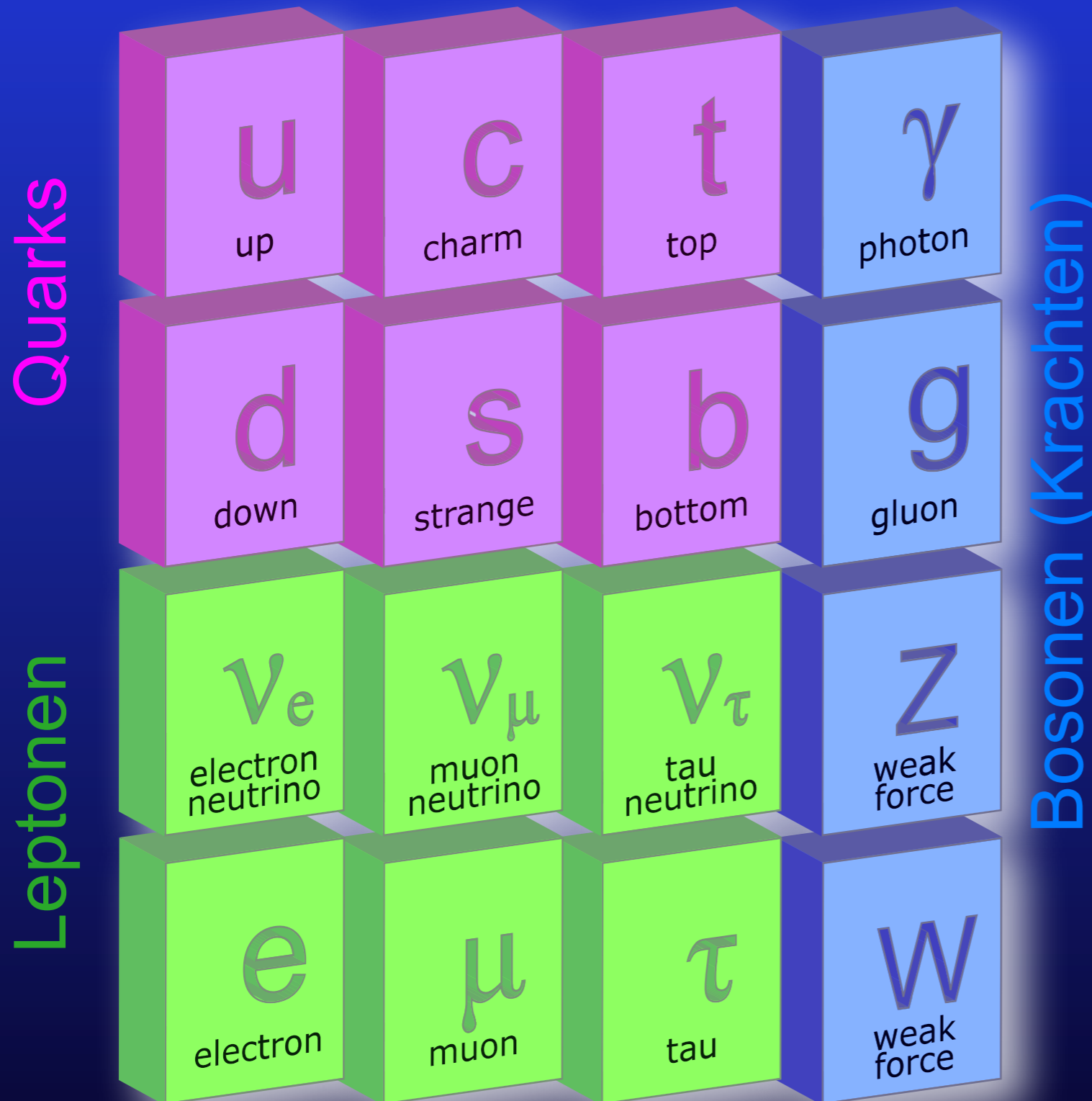
Bosonen (Krachten)



Met het Standaard Model kunnen we nu heel veel voorspellen, mede dankzij het werk van 't Hooft en Veltman

Het Standaard Model

Drie Generaties van Materie



Het Standaard Model

*Higgs
deeltje*

elektro-zwak

onderdeel van het standaard model!

Het Standaard Model

*Higgs
deeltje*

onderdeel van het standaard model!

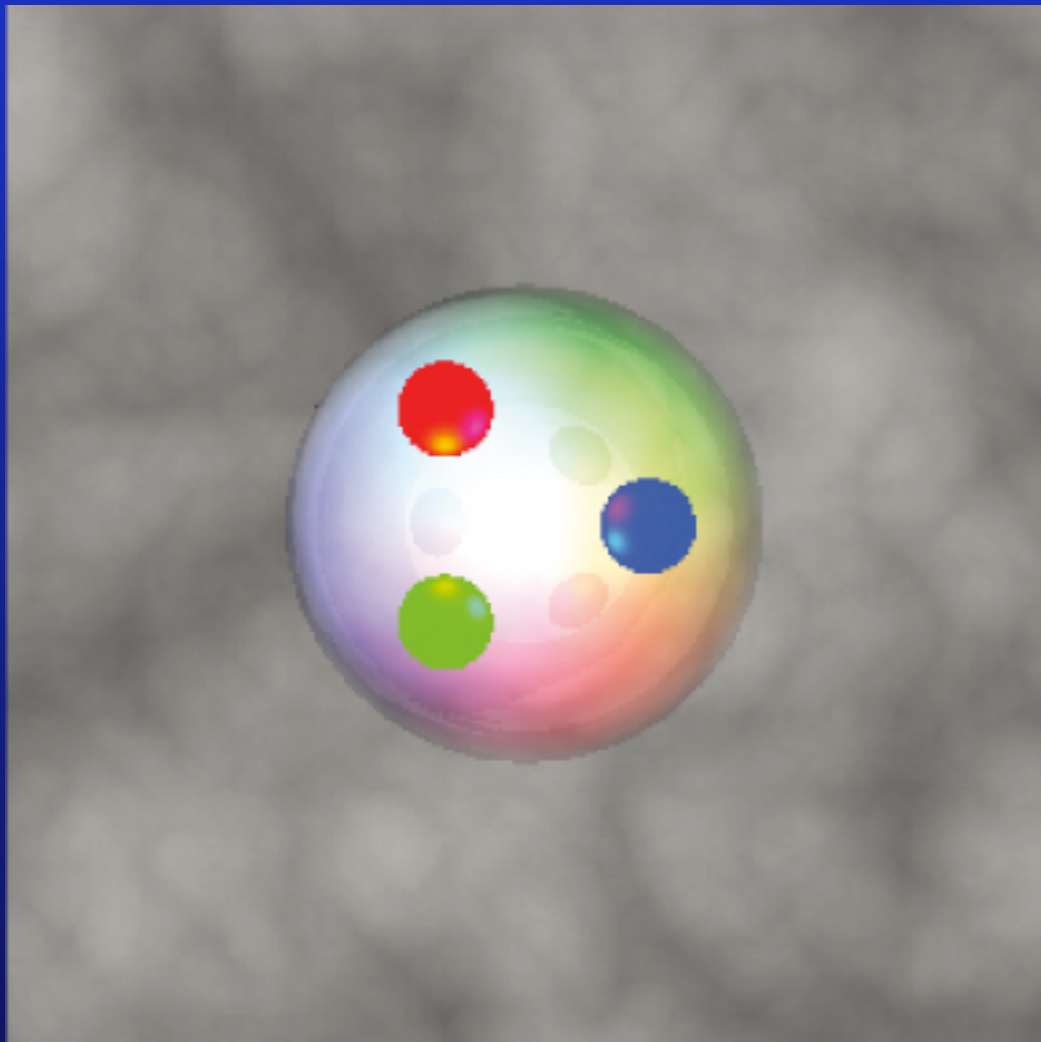
elektro-zwak

graviton

geen onderdeel van het standaard model!

zwaartekracht

Quarks

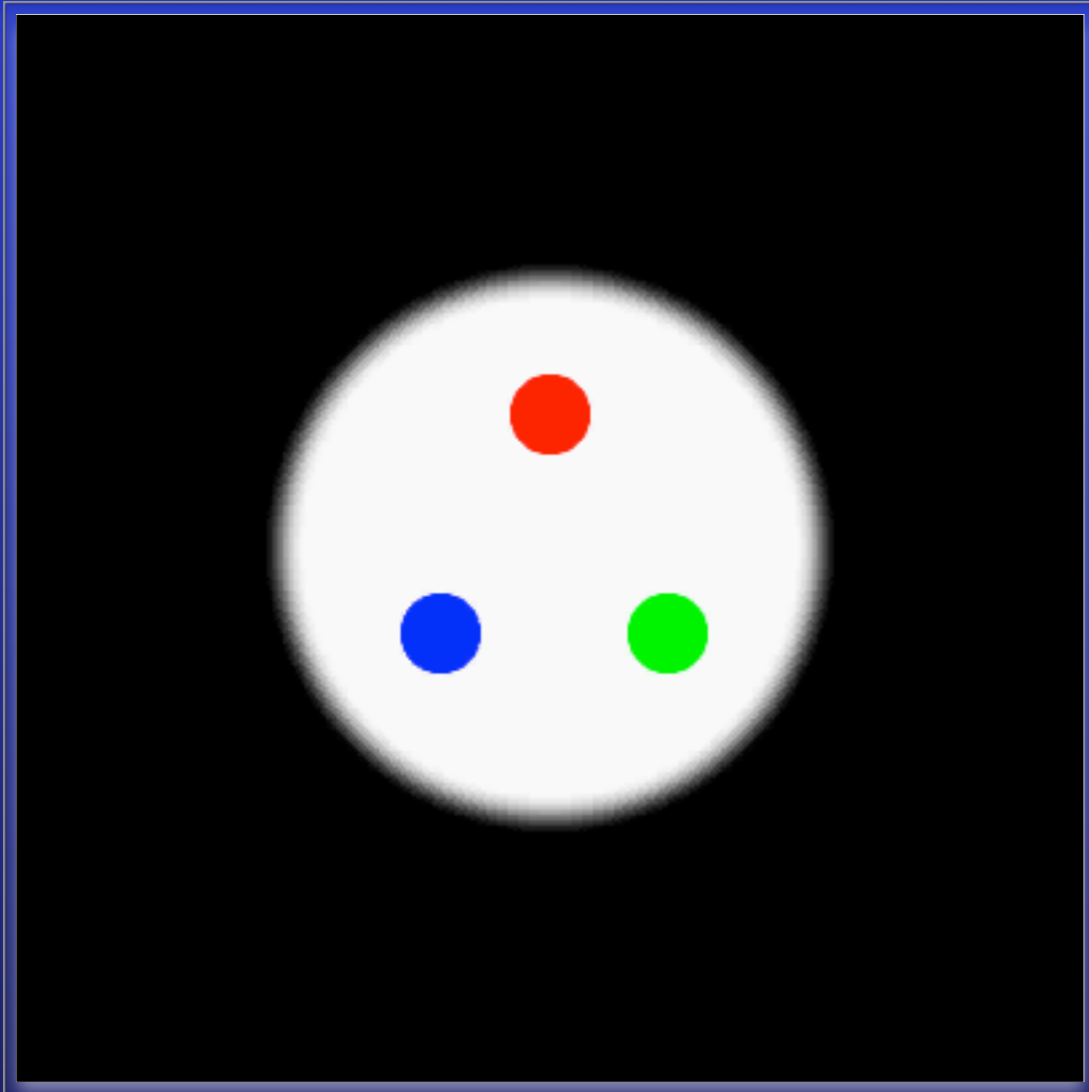


Quarks hebben vreemde eigenschappen:

kleur

komen niet voor als vrije deeltjes!

Quarkopsluïting

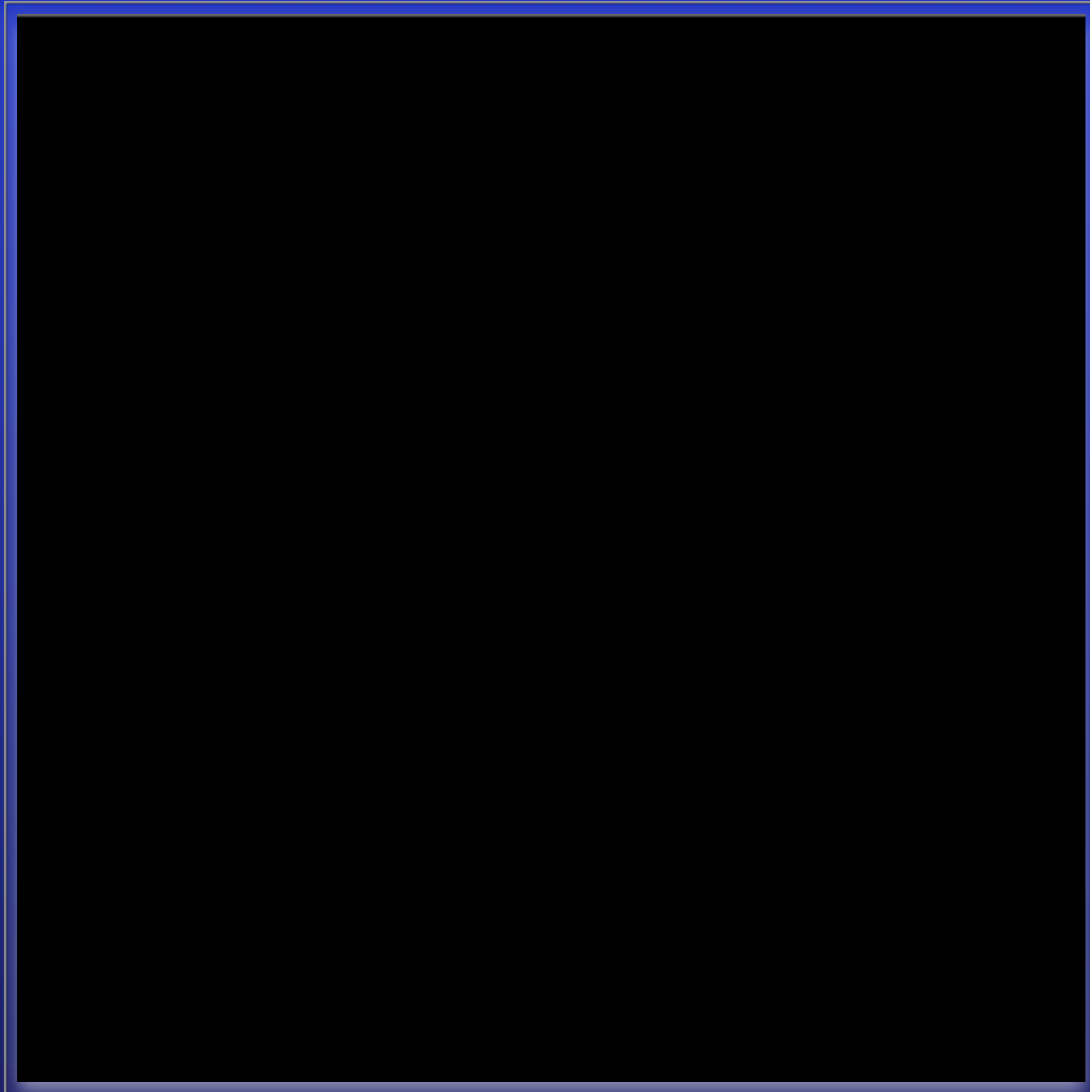


fundamentele
eigenschap van de
sterke kracht!

**opsluïting is niet goed
begrepen!**

De eerste 10 microseconden

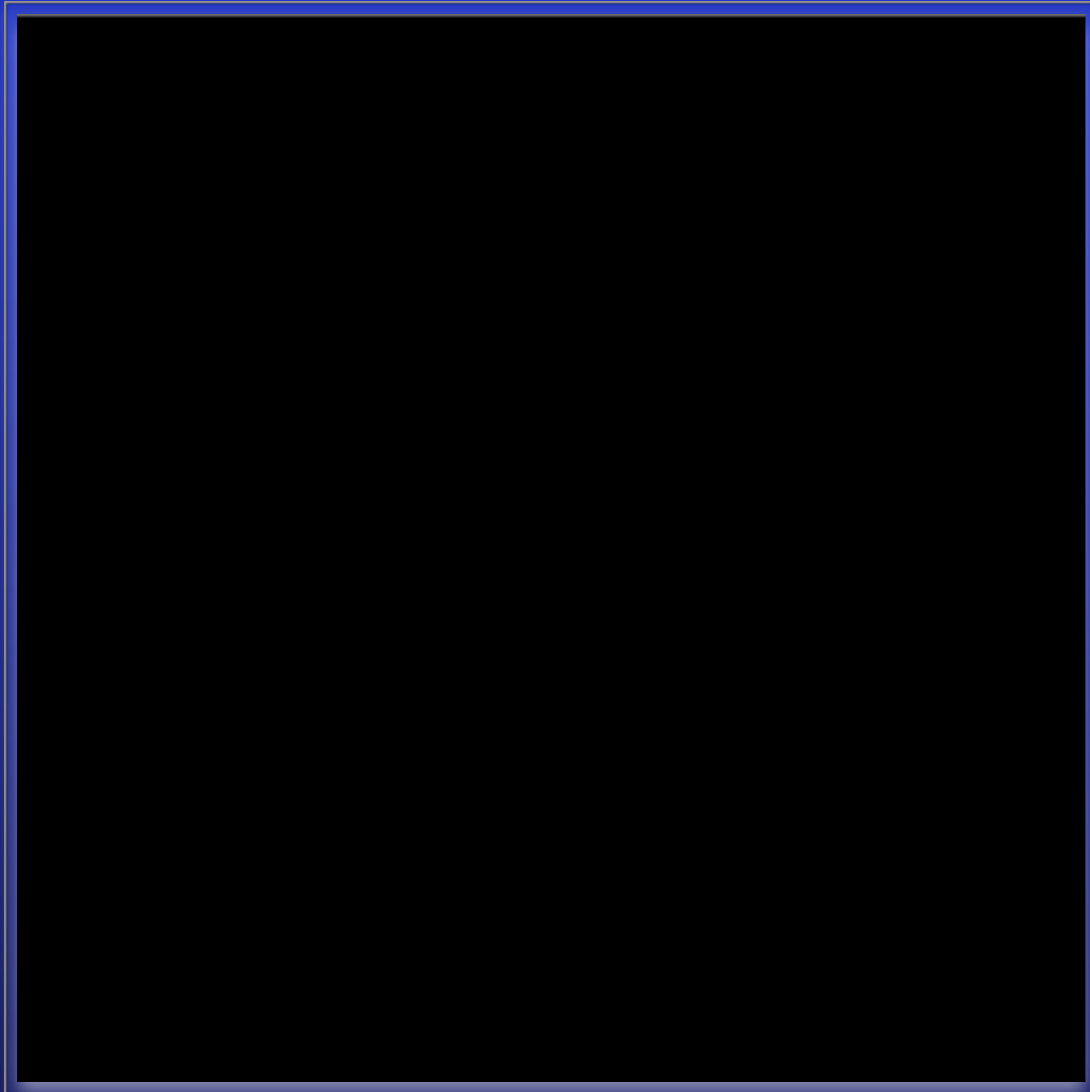
De eerste 10 microseconden



In het vroege heelal waren de quarks vrij.

▶ geen quarkopsluiting

De eerste 10 microseconden



In het vroege heelal waren de quarks vrij.

▶ geen quarkopsluiting

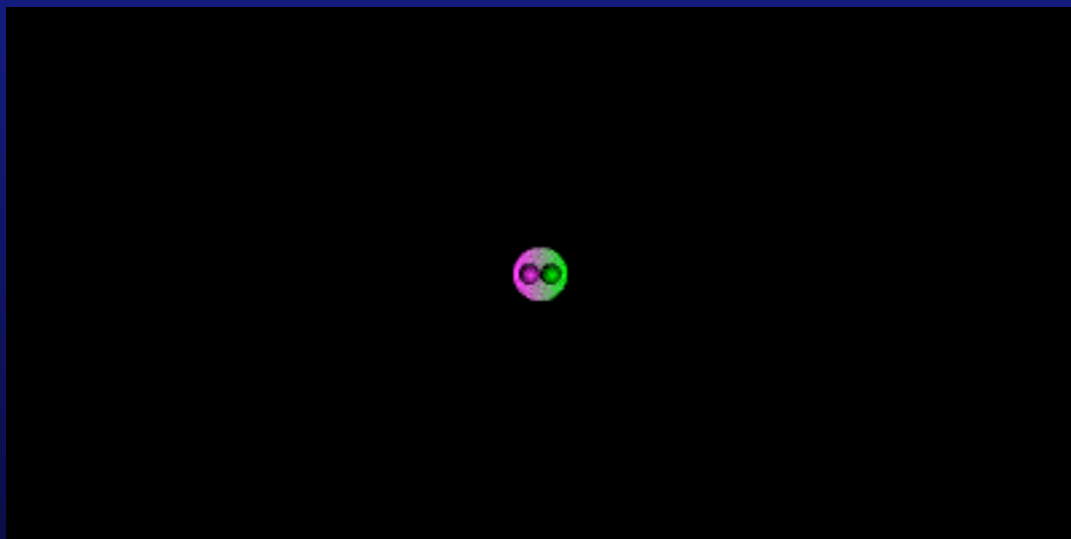
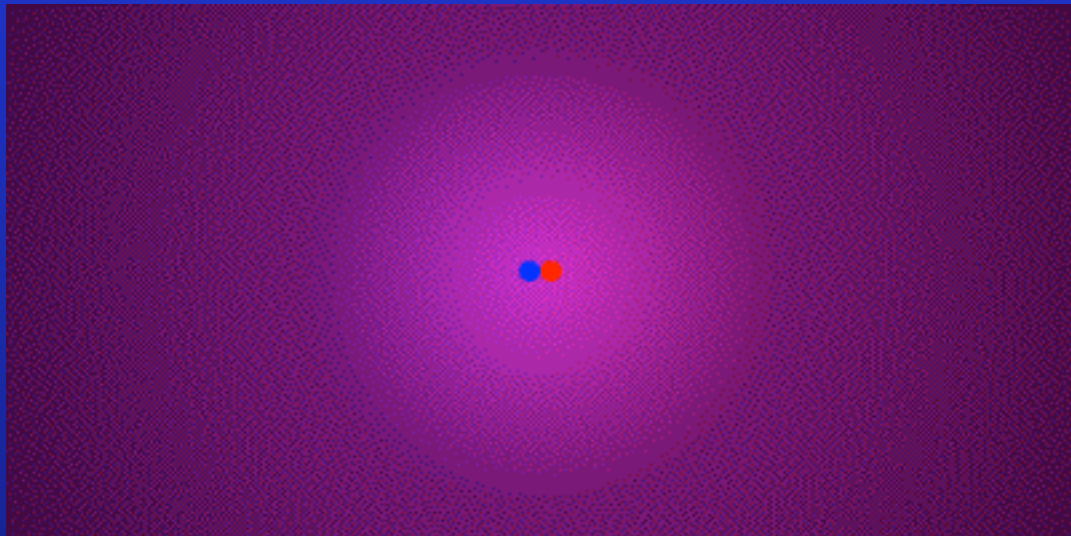
Faseovergang na
 ≈ 10 microseconden

Quarkopsluiting

Quarkopsluitering

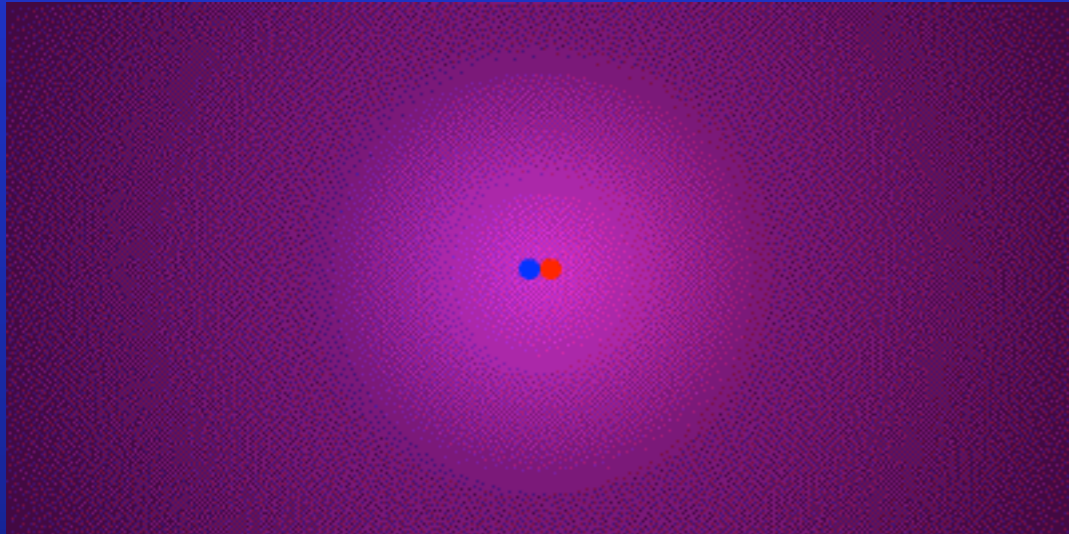
elektrische kracht:

verspreidt zich in de ruimte,
wordt zwakker op grotere
afstand, je kan de ladingen
van elkaar losmaken



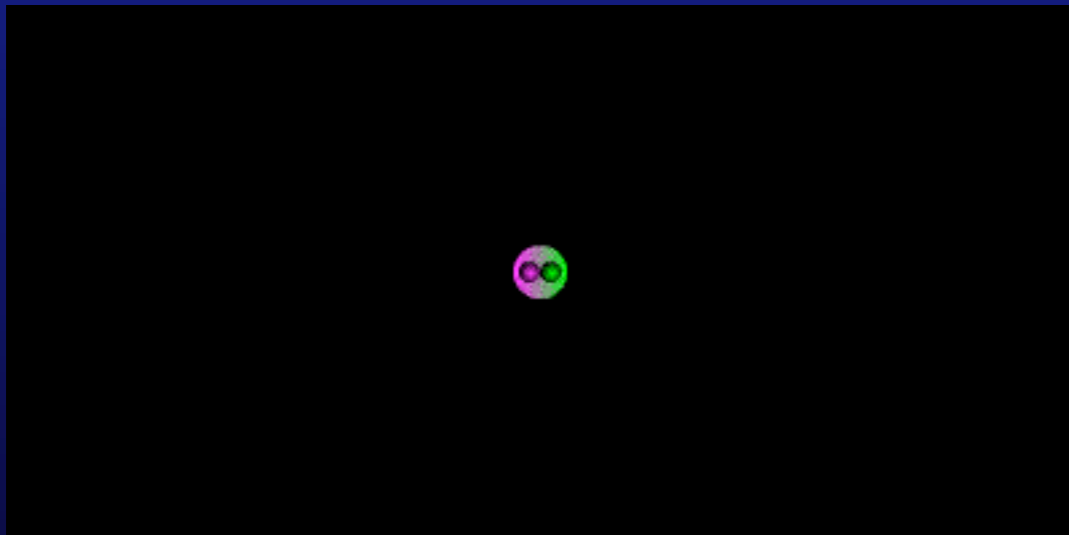
Quarkopsluiting

elektrische kracht:



verspreidt zich in de ruimte,
wordt zwakker op grotere
afstand, je kan de ladingen
van elkaar losmaken

sterke kracht:



zit opgesloten samen met
de quarks, blijft sterk op
grotere afstand, je kan
quarks niet losmaken

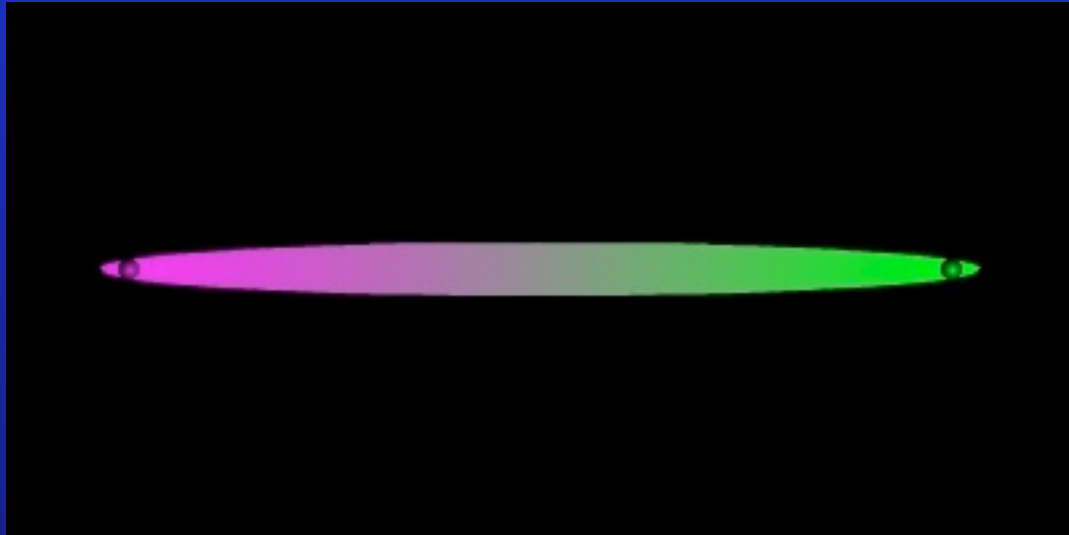
Snaren



Het samengeknepen
krachtveld van de sterke
kracht lijkt op
een elastiekje of een **snaartje**.

Trillingstoestanden van een snaar
kunnen zich manifesteren als
elementaire deeltjes!

Snaren

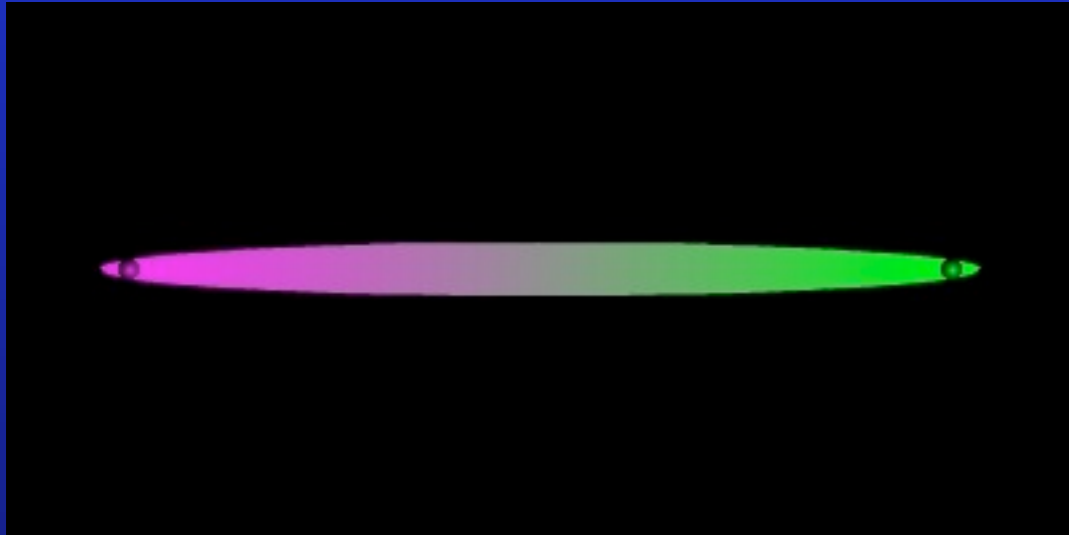


Het samengeknepen
krachtveld van de sterke
kracht lijkt op
een elastiekje of een **snaartje**.



Trillingstoestanden van een snaar
kunnen zich manifesteren als
elementaire deeltjes!

Snaren



Het samengeknepen
krachtveld van de sterke
kracht lijkt op
een elastiekje of een **snaartje**.

Trillingstoestanden van een snaar
kunnen zich manifesteren als
elementaire deeltjes!

Snaren



Het samengeknepen
krachtveld van de sterke
kracht lijkt op
een elastiekje of een **snaartje**.



Trillingstoestanden van een snaar
kunnen zich manifesteren als
elementaire deeltjes!

Relativistische quantum snaar?

Zo'n snaar moet in
overeenstemming zijn met
de **relativiteitstheorie** en de
quantummechanica

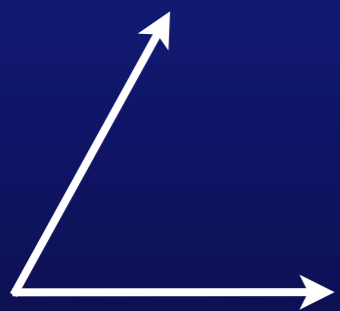


Problematisch:

- ◆ **tachyonen**: sneller dan het licht ??
- ◆ **22 extra dimensies**: $3 \rightarrow 25$??

Extra dimensies?

OPROLLEN

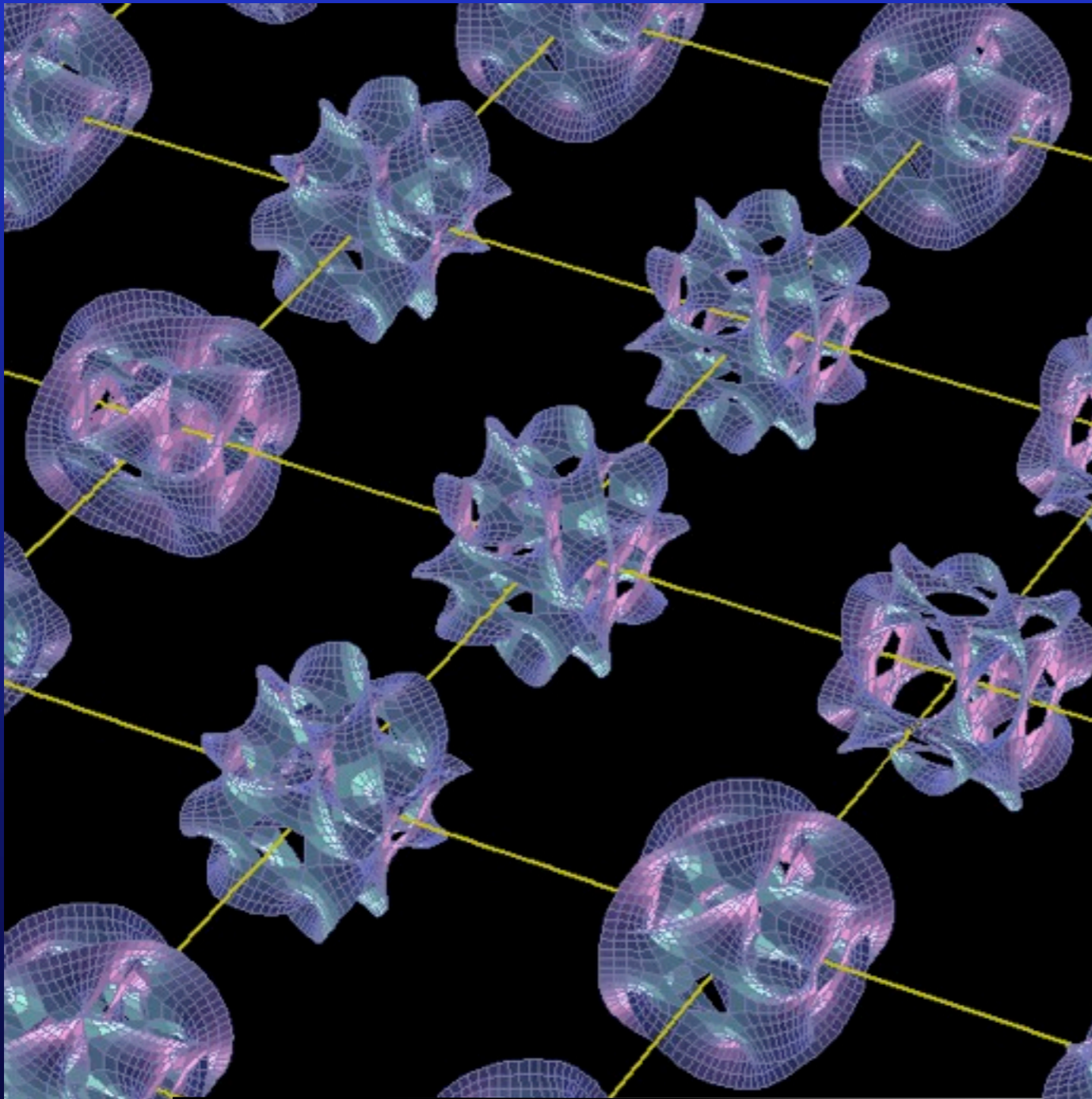


2 dimensies



1 dimensie

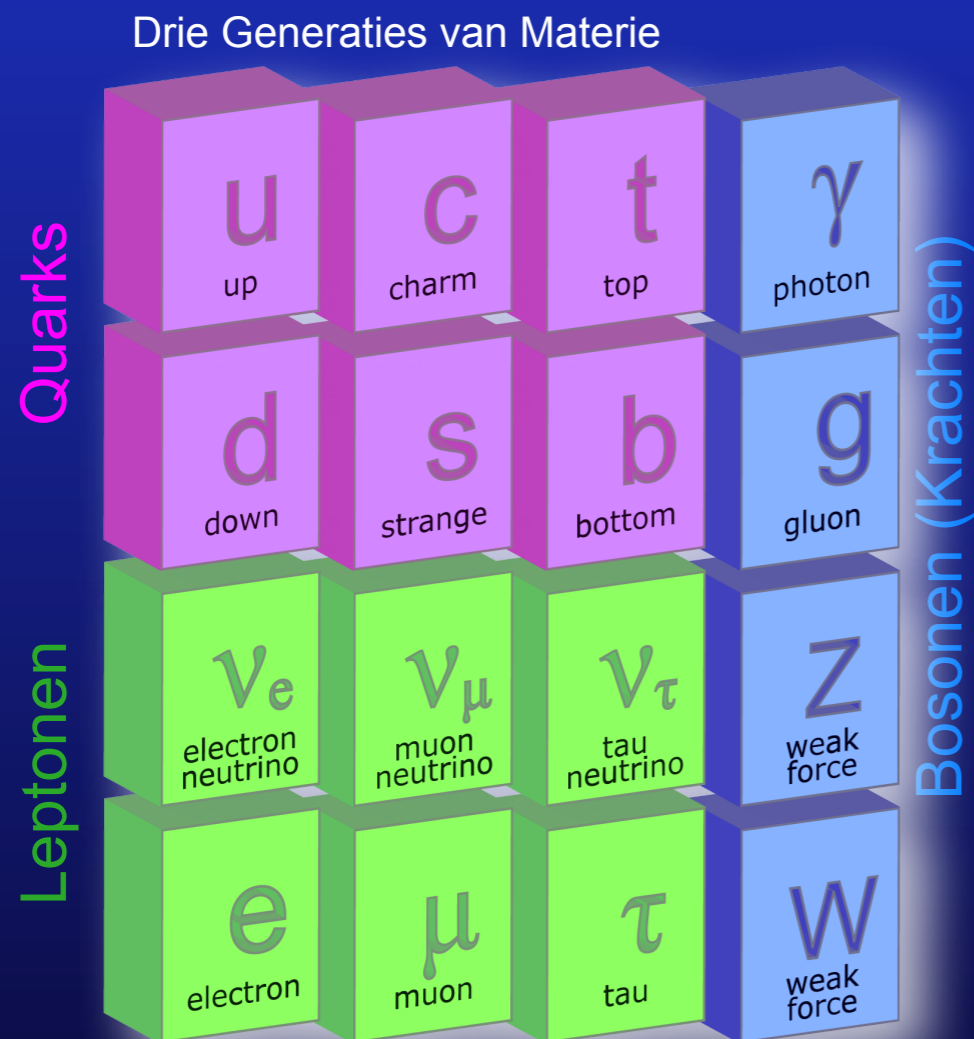
Compactificatie



Op ieder punt in de 3-dimensionale ruimte bevindt zich een hele kleine nieuwe ruimte die heel ingewikkeld kan zijn, maar die niet waar te nemen is.

En de tachyonen?

De tachyonen verdwijnen door een nieuwe symmetrie: **SUPERSYMMETRIE**



superpartners

Waarom de LHC?

Het Higgs deeltje

Supersymmetrie

Donkere energie en donkere materie

Materie versus antimaterie

Geheimen van de oerknal

Verborgene werelden

Waarom de LHC?

Het Higgs deeltje

Supersymmetrie

Donkere energie en donkere materie

mogelijke
eerste indicatie

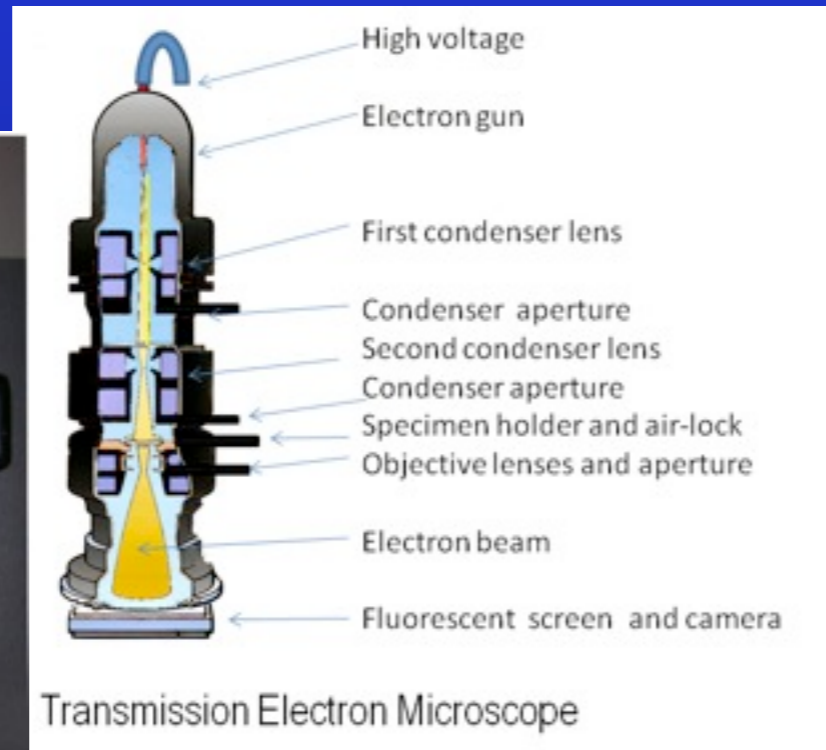
Materie versus antimaterie

Geheimen van de oerknal

Verborgene werelden

De LHC, hoe?

Deeltjes-Microscopen



heel kleine structuren niet meer zichtbaar met licht

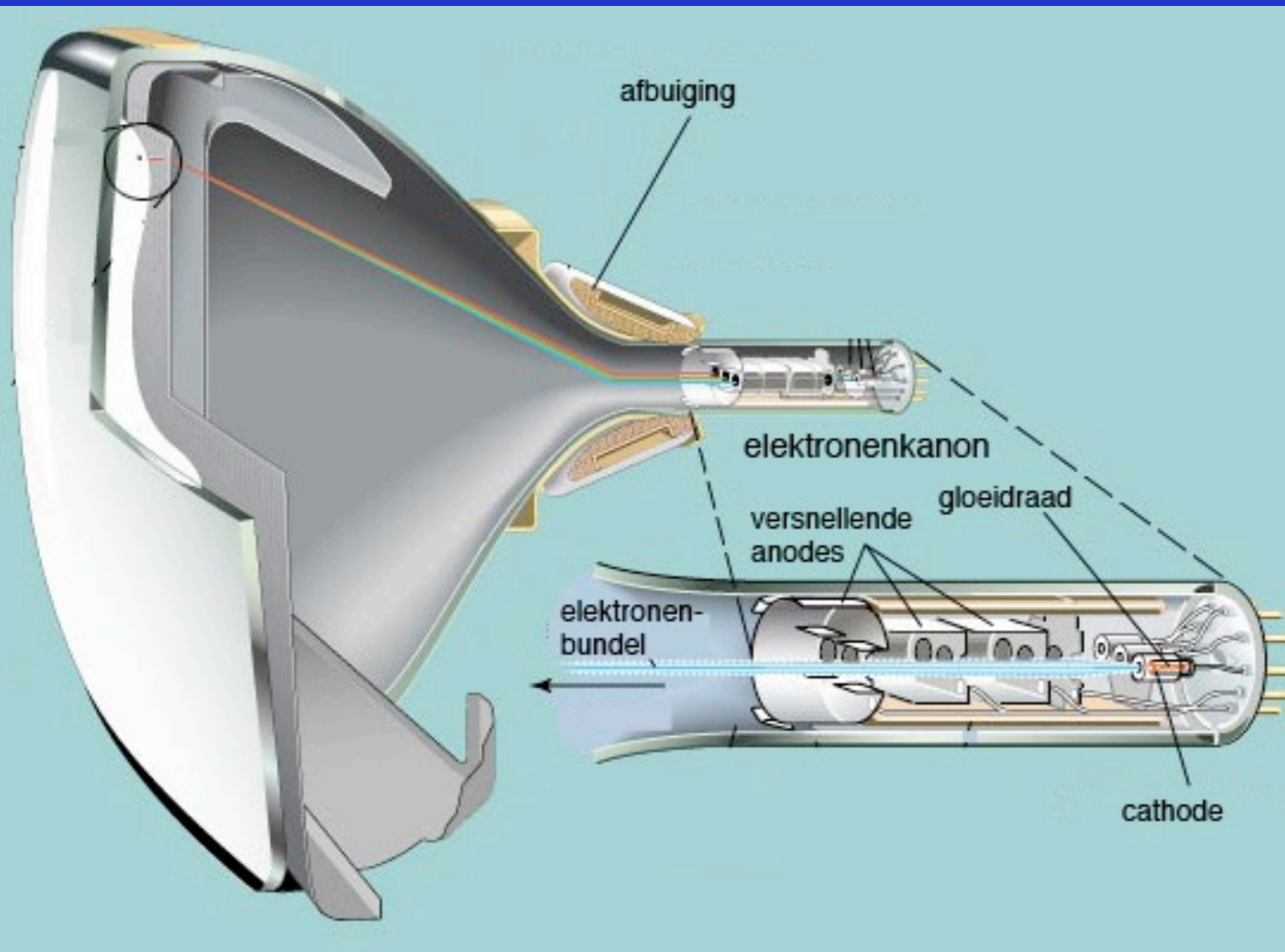
volgende stap:
elektronenmicroscop
(een deeltjesversneller)



waarneming indirect door een detector:
fotoplaat, scintillatiescherm

een mier onder de elektronenmicroscop

Versneller in de TV-buis

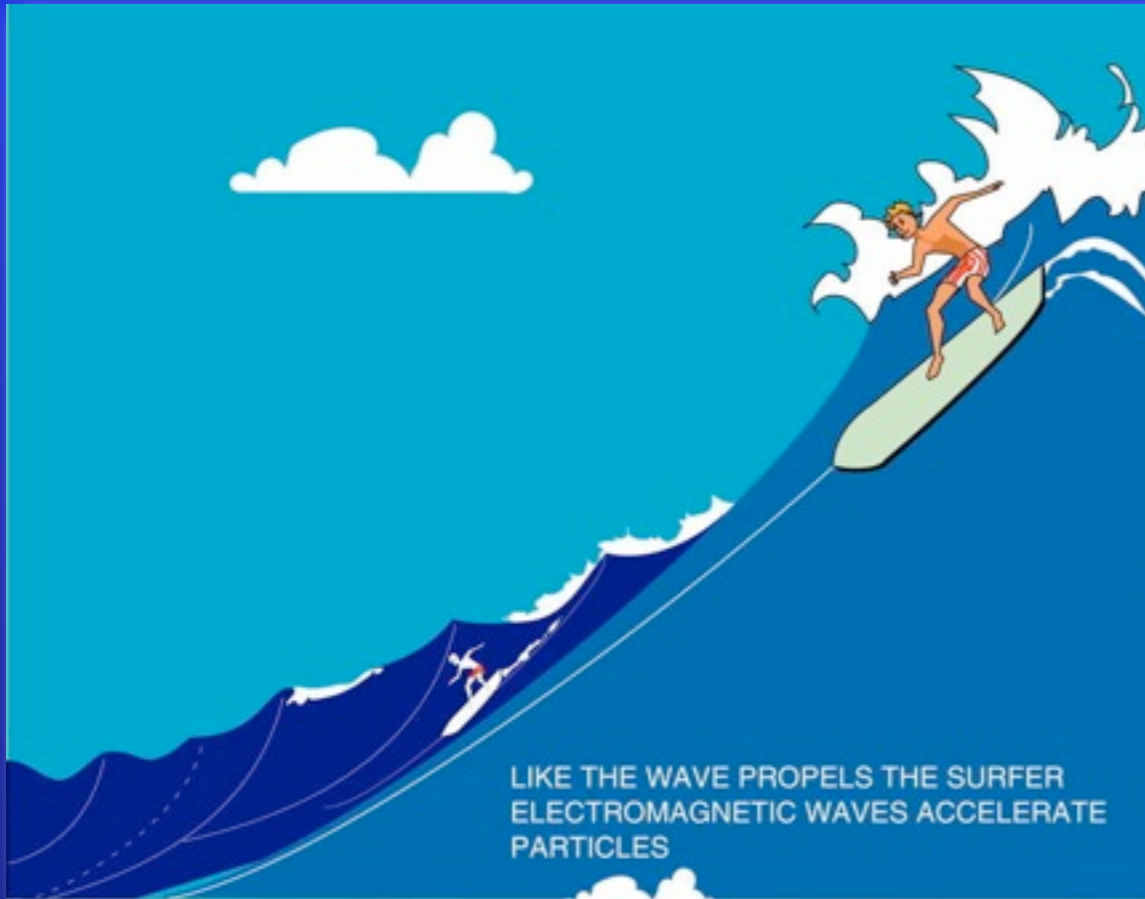


principe:

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

TV-buis heeft een spanning van ≈ 1000 Volt

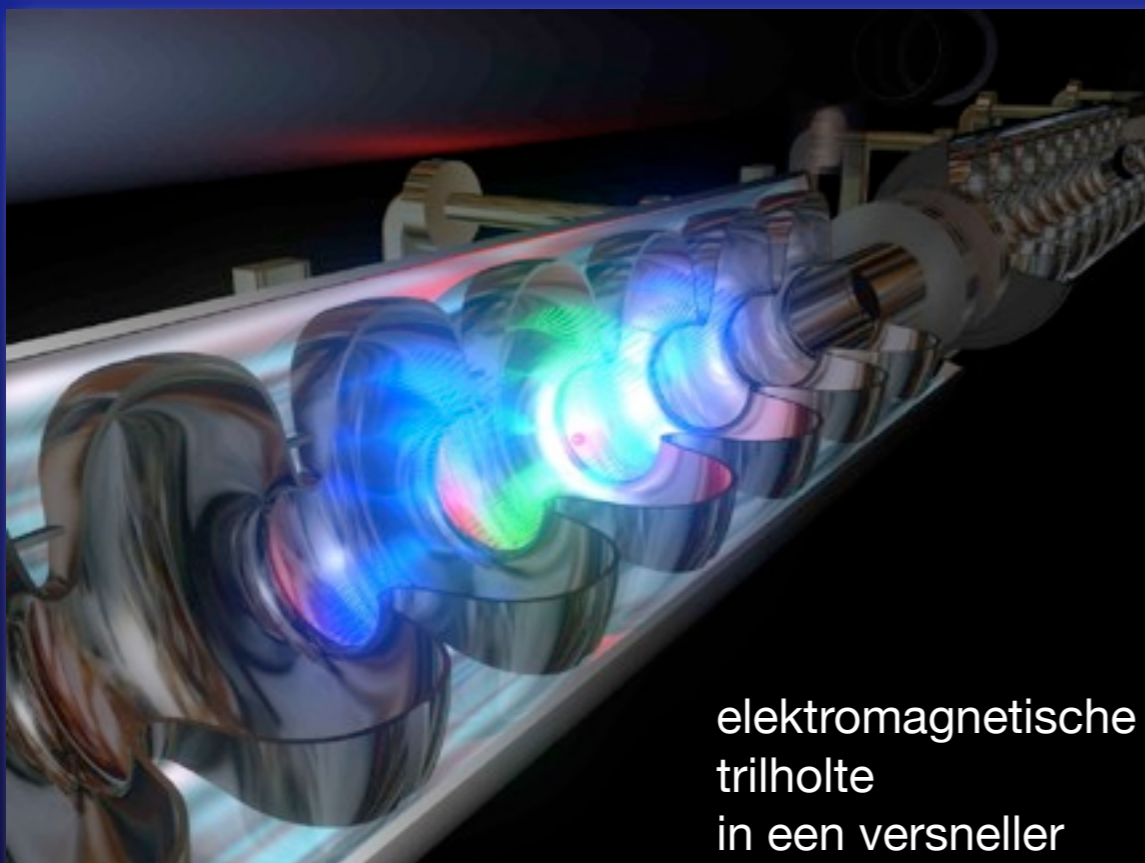
Moderne versnellers



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





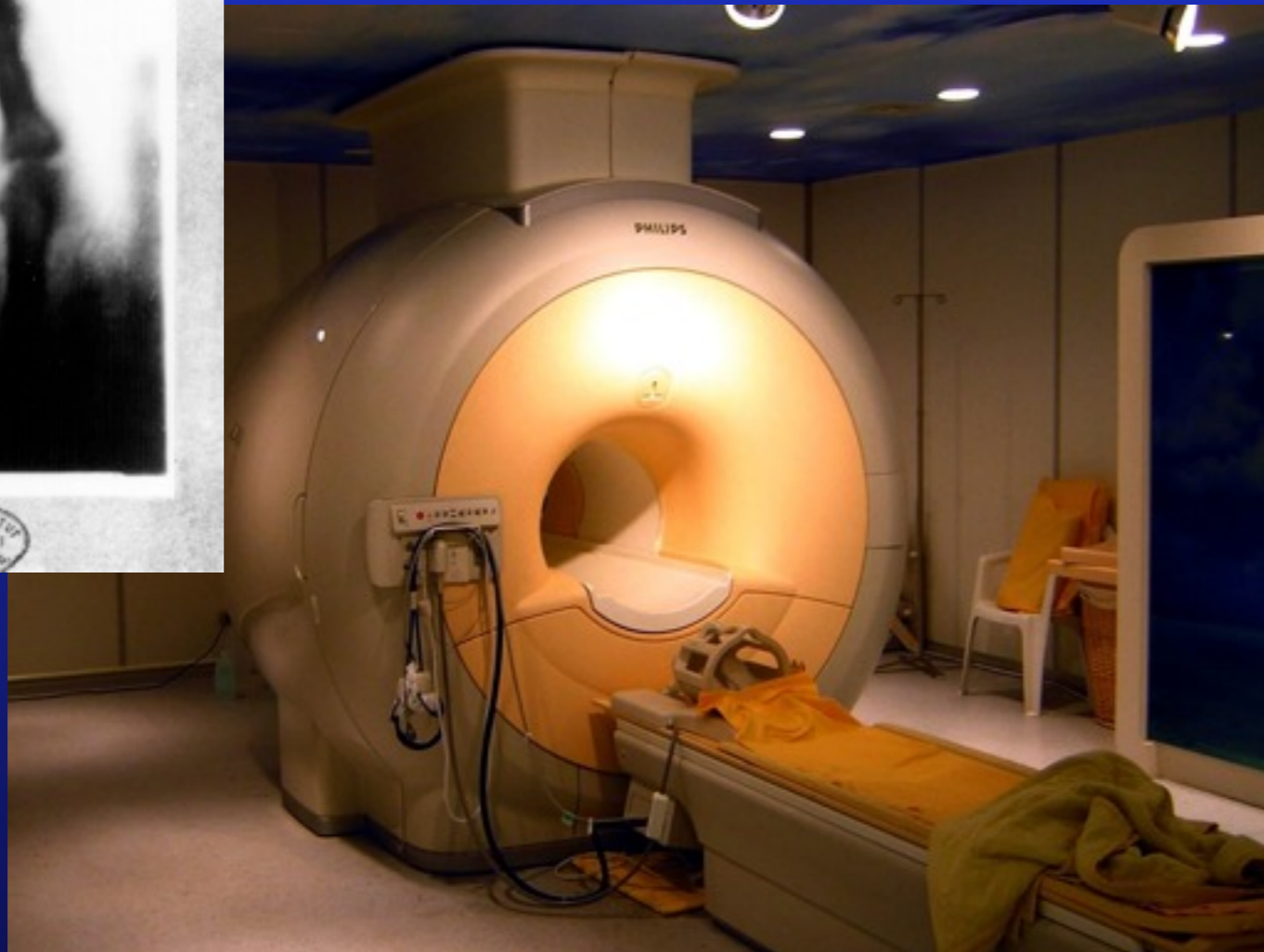
September 2000: First LHC module of four superconducting cavities. One of the modules that will supply 400 MHz radio-frequency power to accelerate the particles in CERN's LHC collider.

Nuttige technologieën ...

Nuttige technologieën ...



Nuttige technologieën ...

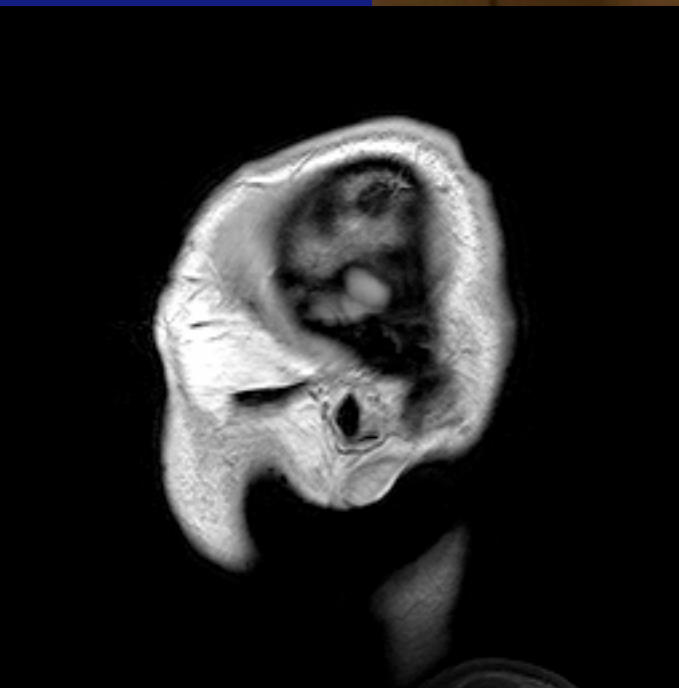


MRI scan

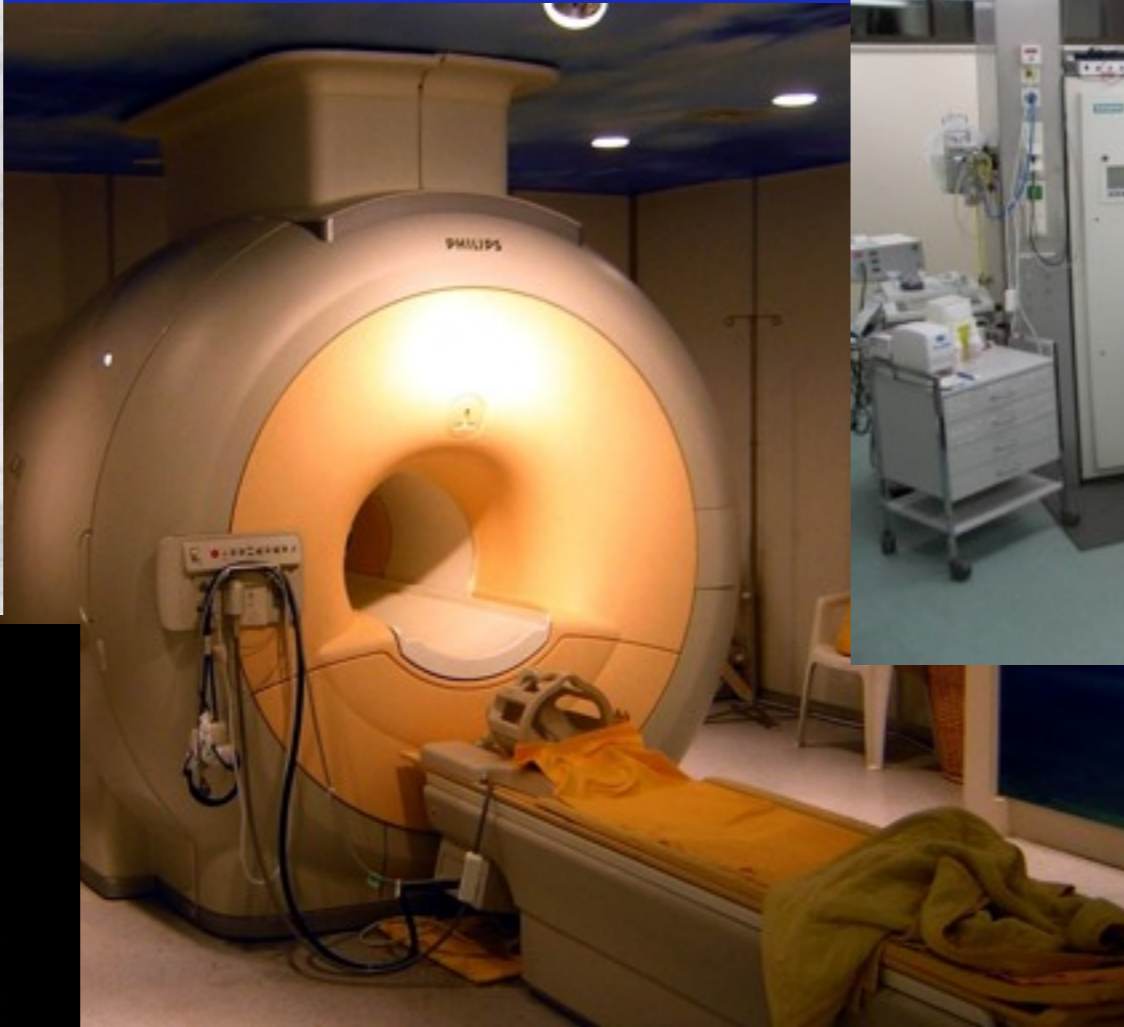
Nuttige technologieën ...



MRI scan



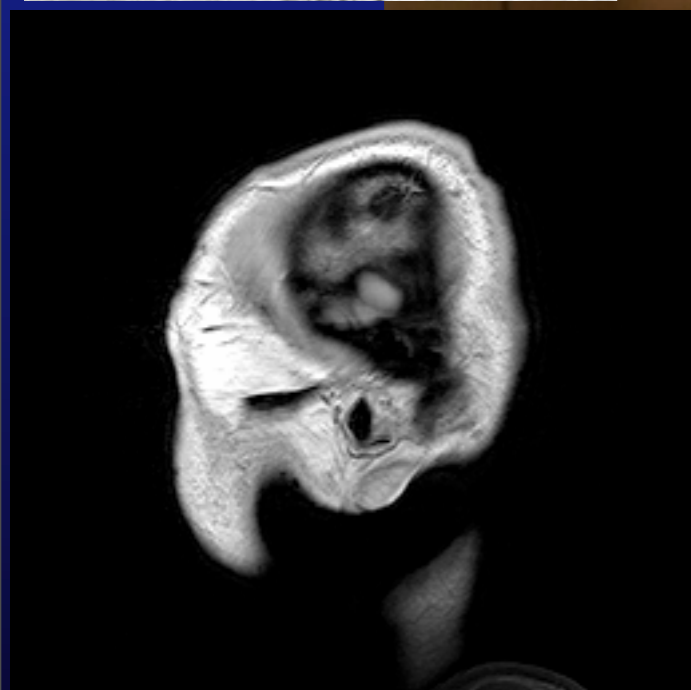
Nuttige technologieën ...



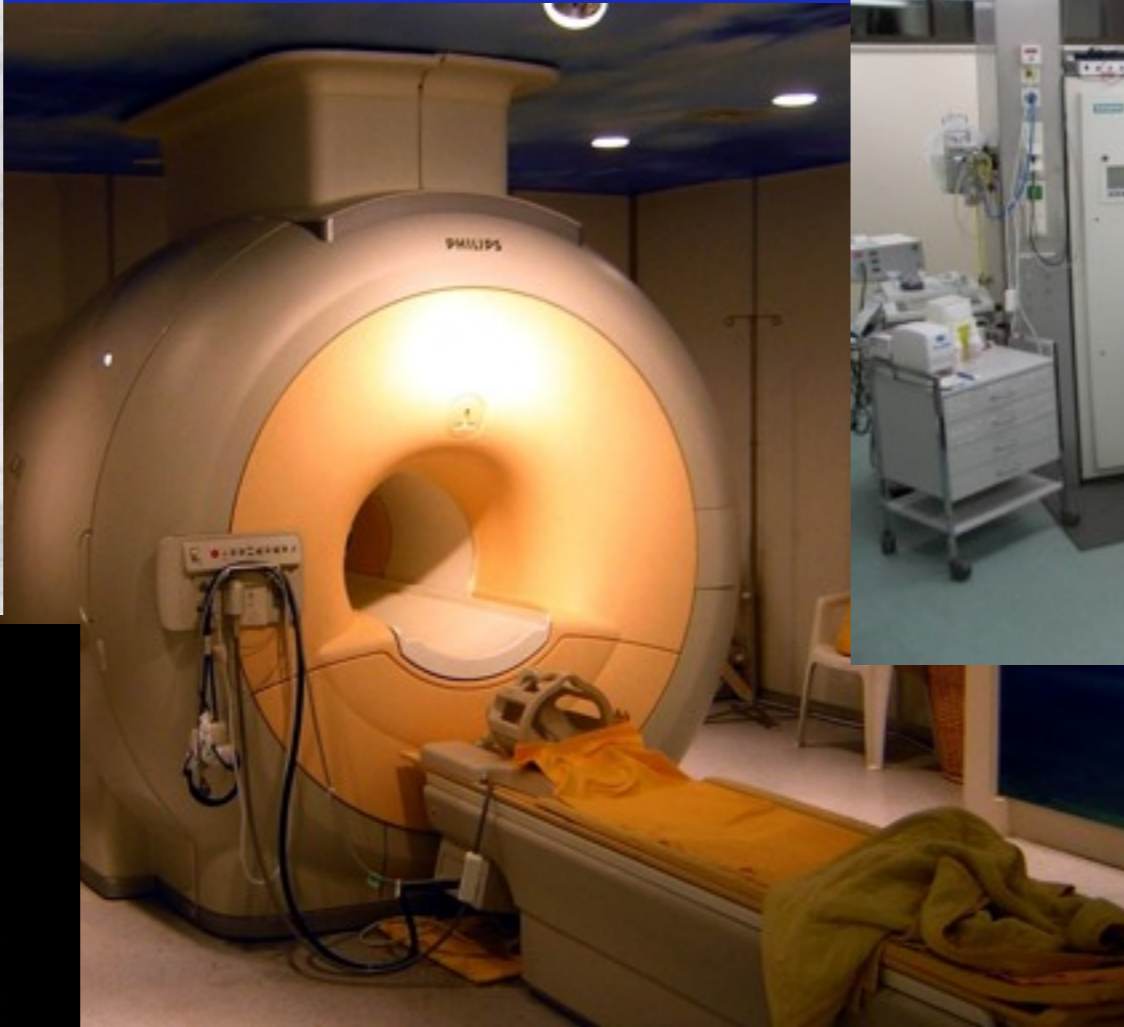
MRI scan



PET scan



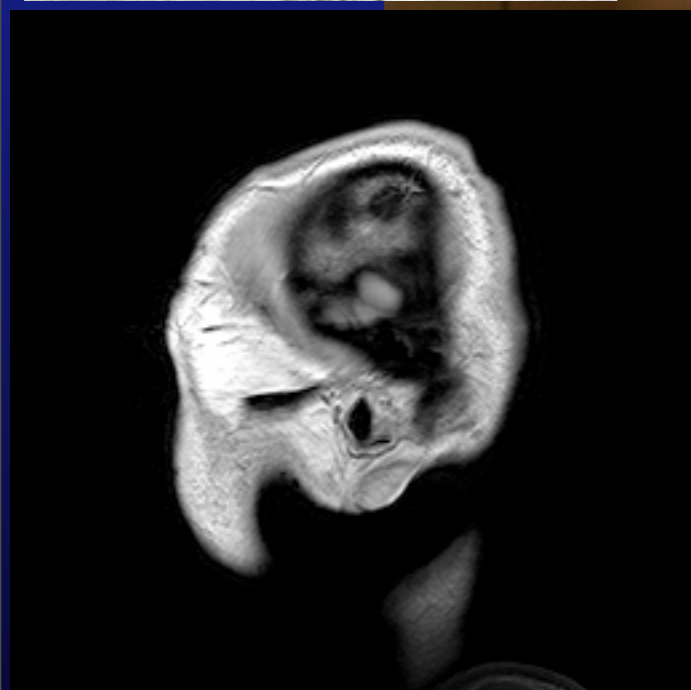
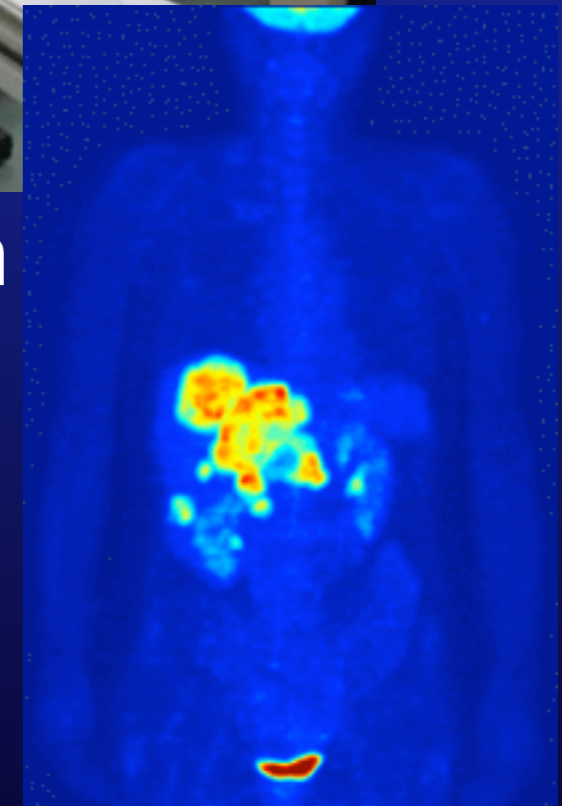
Nuttige technologieën ...



MRI scan



PET scan



Onverwachts....



Onverwachts....

World Wide Web



Eerste WWW Server

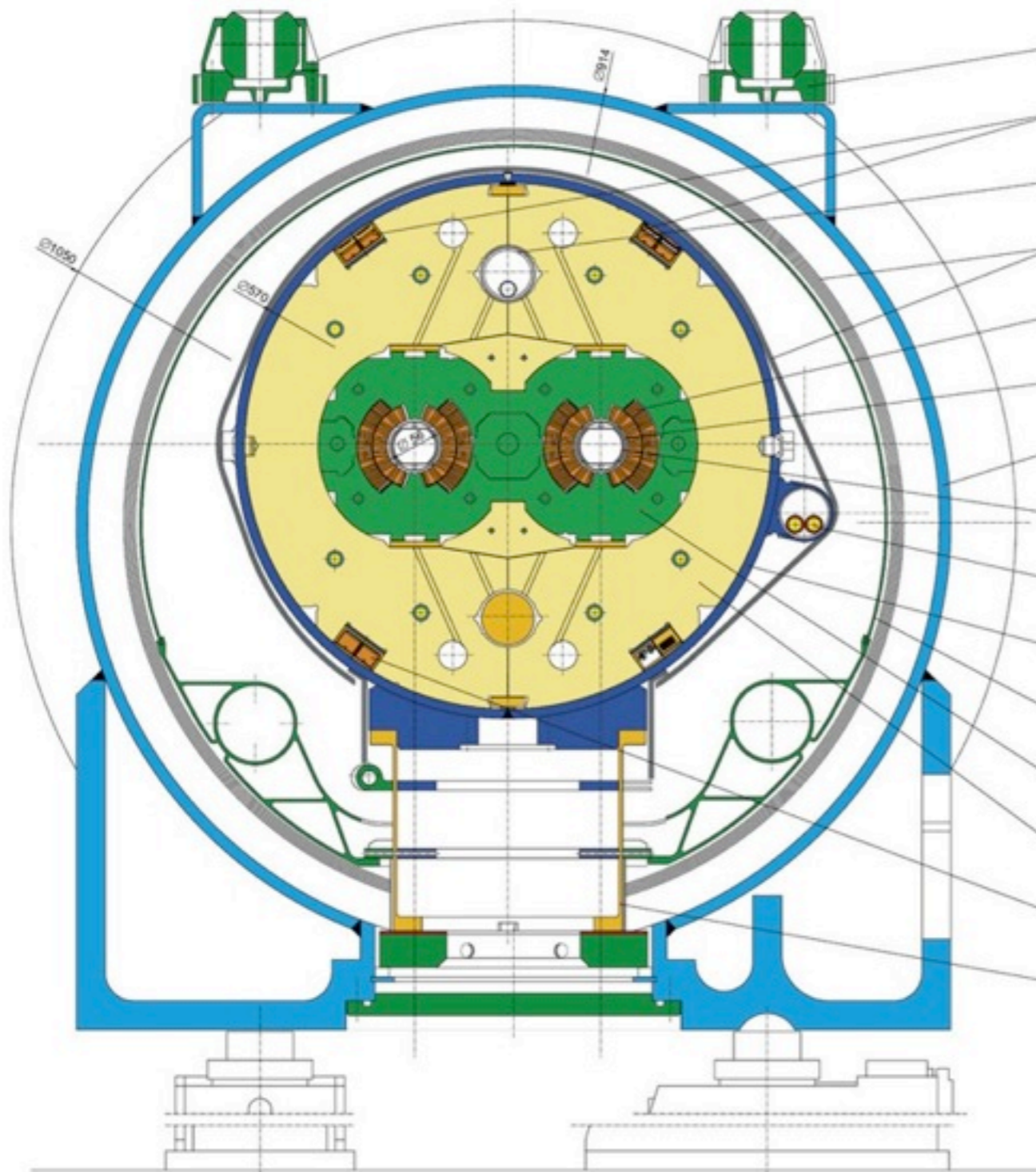
June 2006: A worker inside the LHC tunnel. Technicians and engineers worked days and nights, carefully installing 20 magnets a week between 7 March 2005 and 26 April 2006.



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



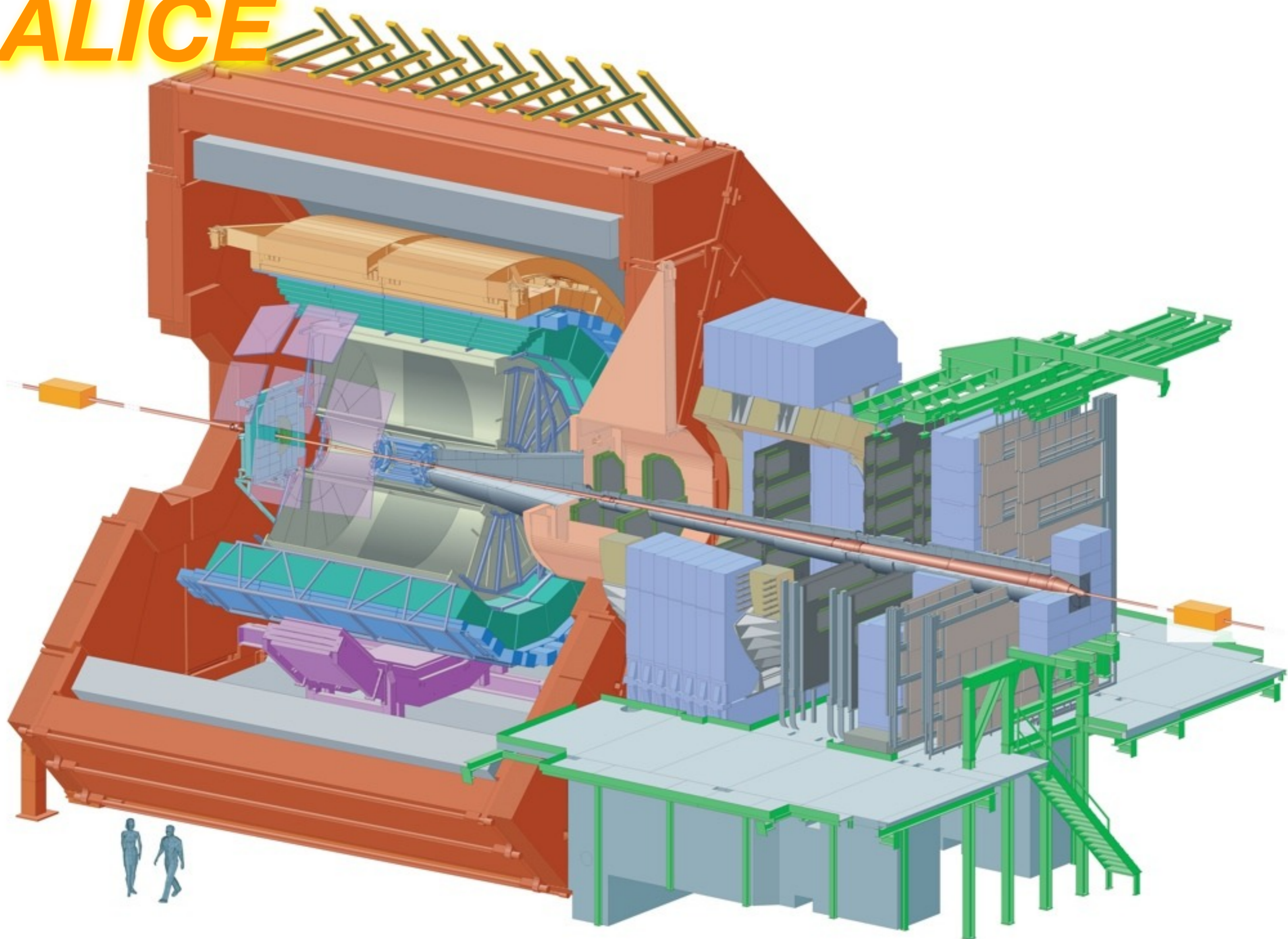
March 2005: The first superconducting magnet is transported to its final location in the LHC tunnel using a specially designed vehicle. Once they have been lowered down the specially constructed shaft, they begin a slow progression to their final destinations in the LHC tunnel, taking about 10 hours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



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

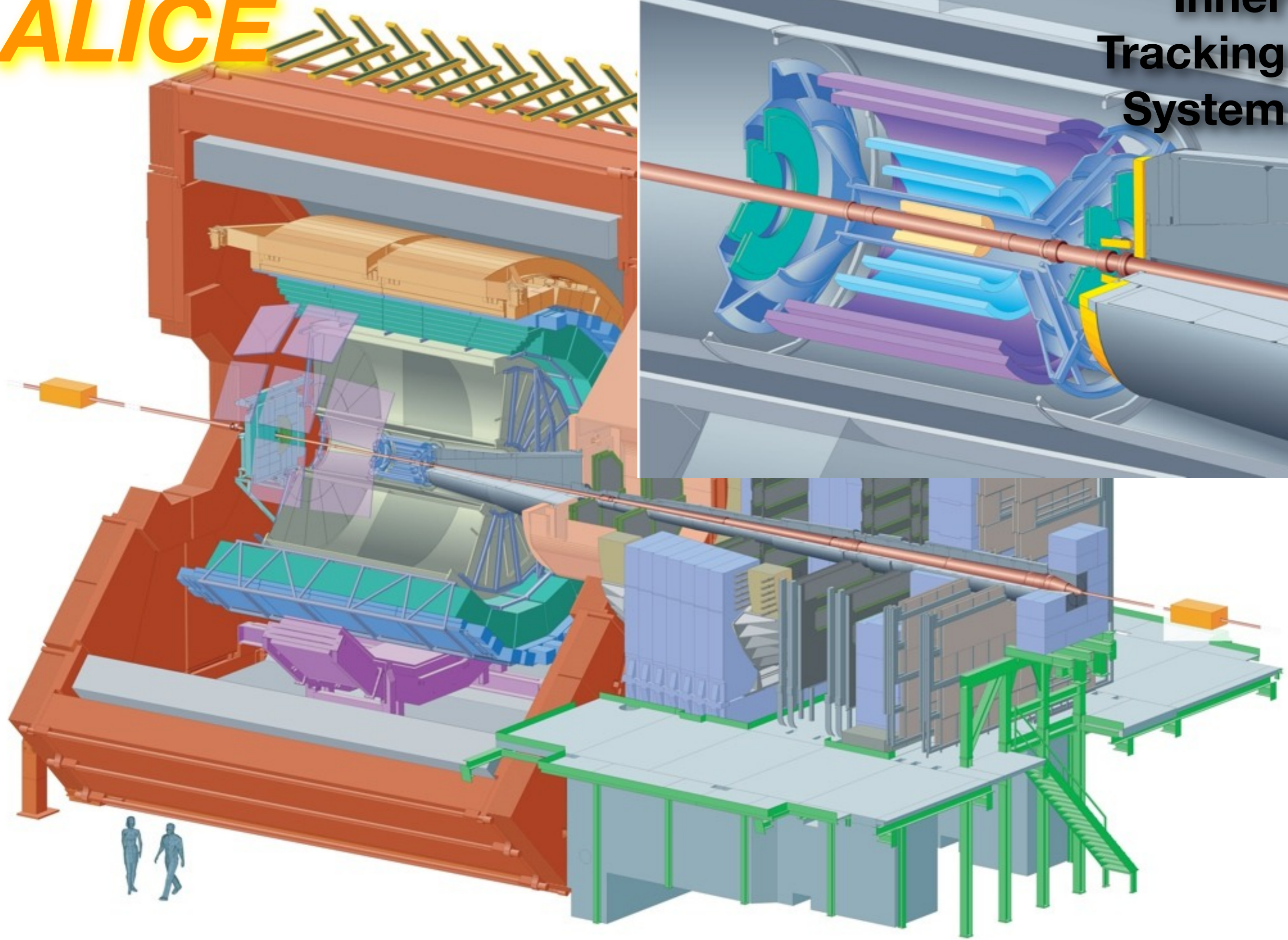
De detectoren

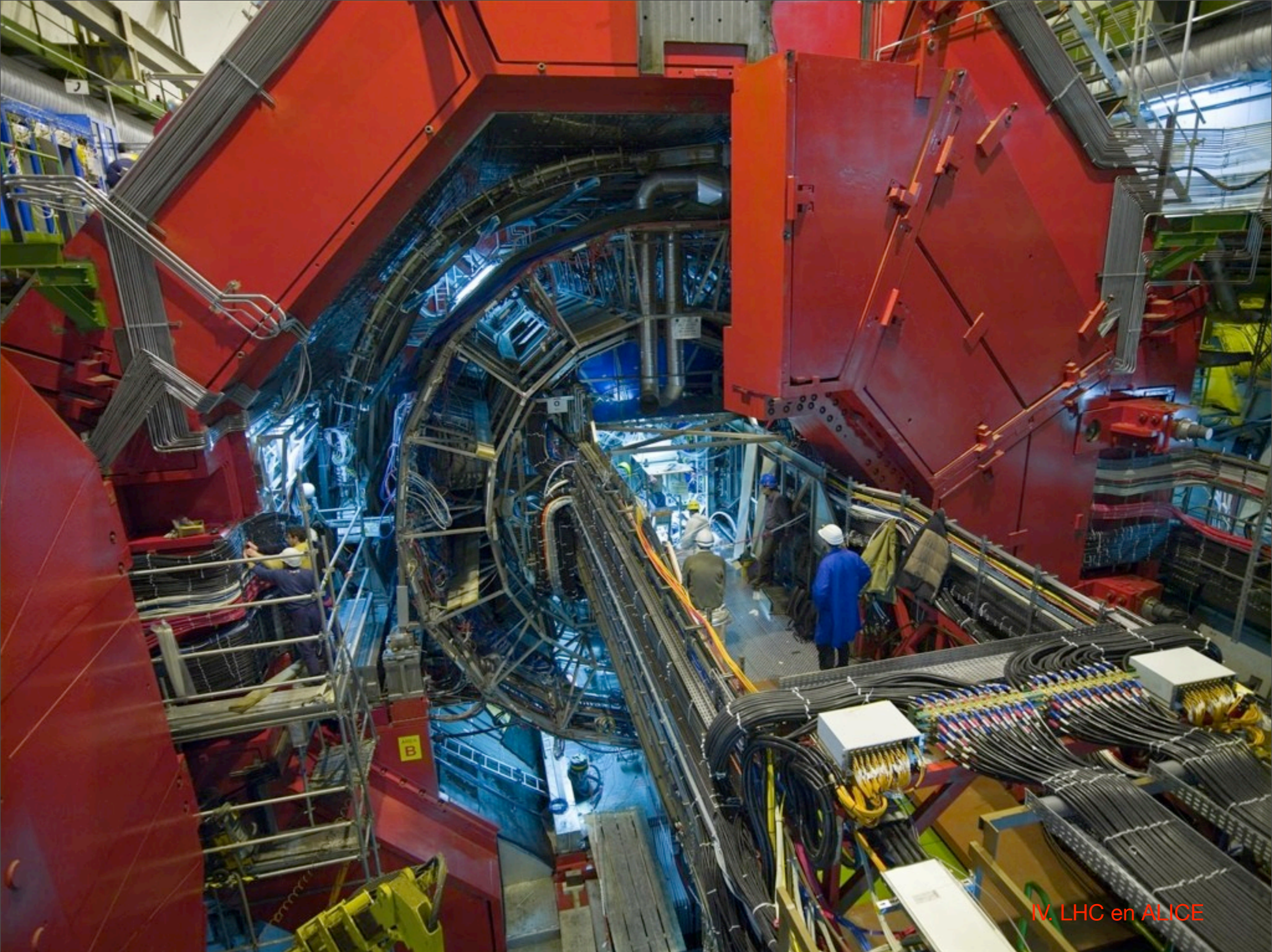
ALICE



ALICE

Inner Tracking System

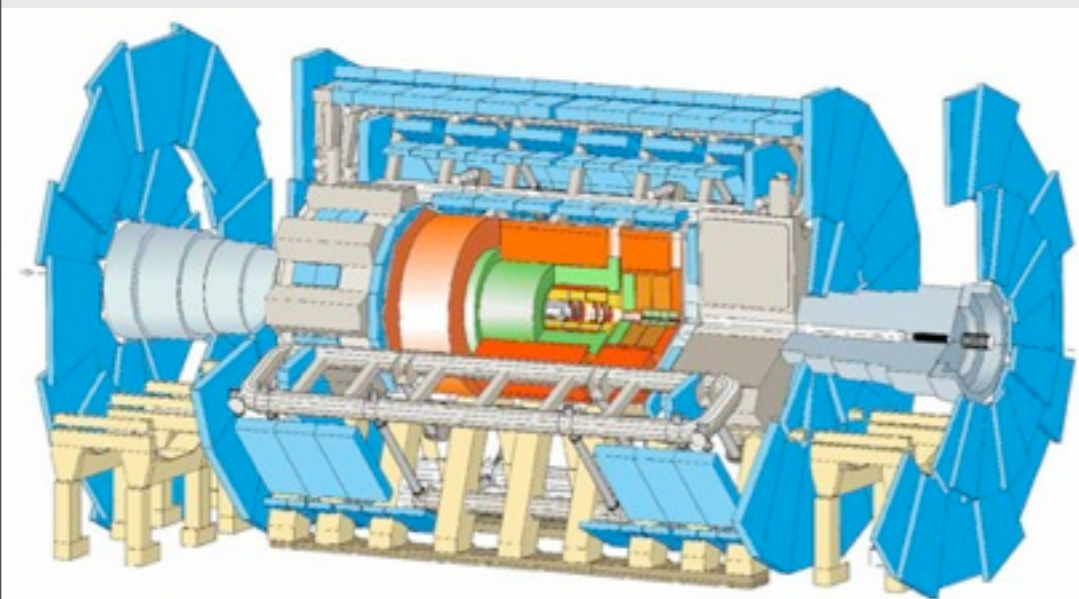
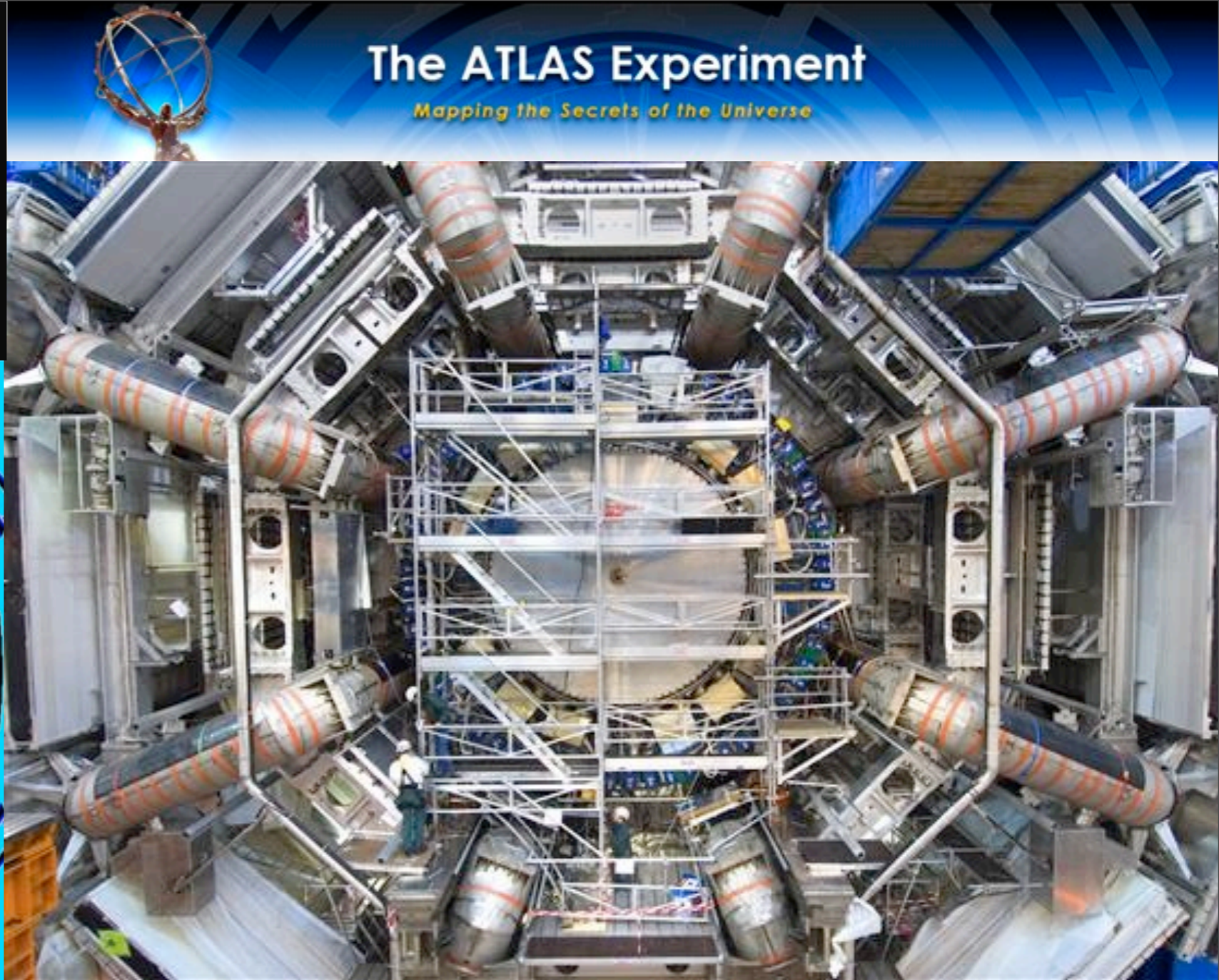
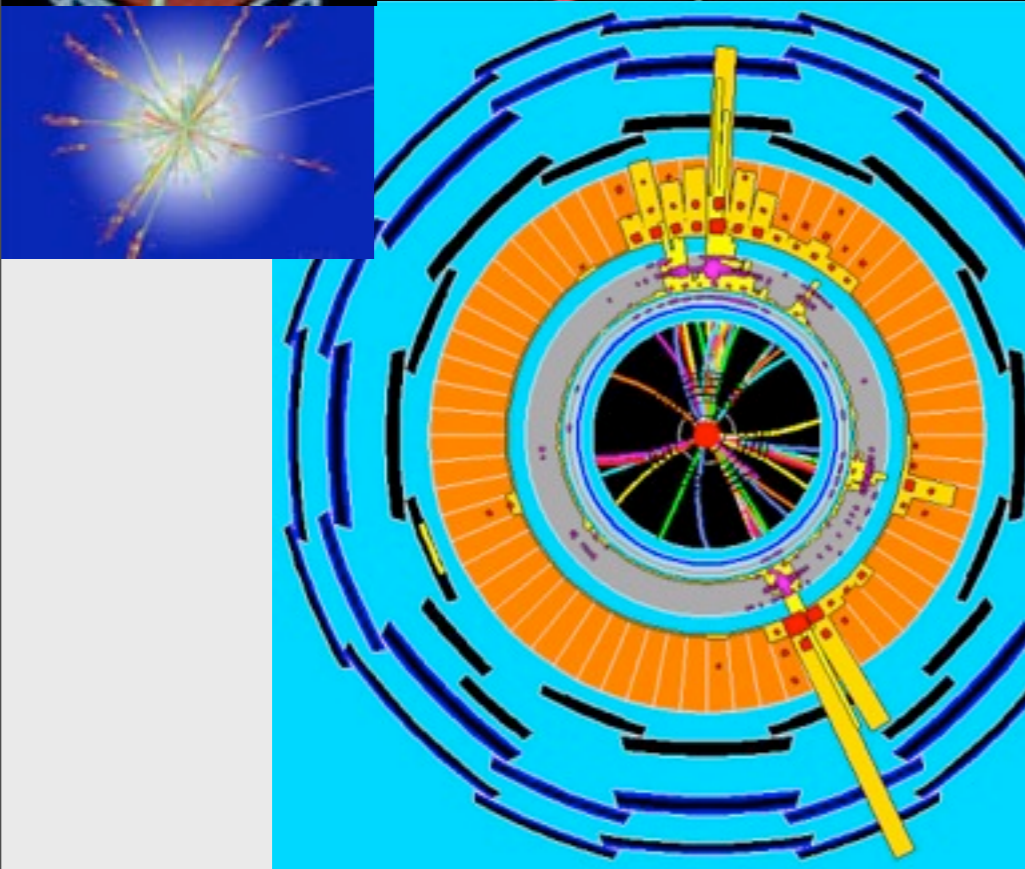
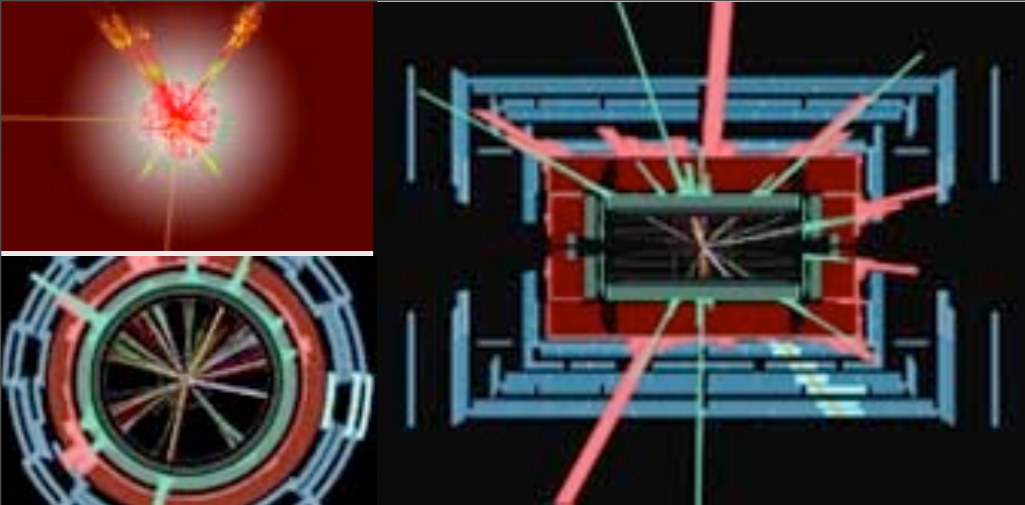




IV. LHC en ALICE

The ATLAS Experiment

Mapping the Secrets of the Universe



inner tracker: meet de impuls van ieder geladen deeltje

calorimeter: meet de energie van de deeltjes

muon spectrometer: identificeert en meet de muonen

magneetsysteem: buigt de baan van de geladen deeltjes voor impulsmeting

trigger systeem: filtert 100 uit 1 miljard gebeurtenissen

computer systeem: analyseert 1 miljard gebeurtenissen per jaar

botsingen van protonen

