

# Tervetuloa Halikon, Perniön ja Salon lukiot

24.4.2024



Yleisesittely:  
Mikä CERN on ja mitä täällä  
tehdään?

Timo Hakulinen

EN/AA

Lyhyt Intro: mistä  
on kysymys

# Paikka, jossa paiskataan tavaraa vastakkain ja katsotaan mitä tapahtuu!





Ja miten se tehdään oikeasti?

# Maailman nopein “kilparata” – Large Hadron Collider (LHC)



# Maailman nopein “kilparata” – Large Hadron Collider (LHC)



# Maailman nopein “kilparata” – Large Hadron Collider (LHC)

Yli 600 biljoonaa protonia,  
jotka kulkevat nopeudella  
99,9999991% valon  
nopeudesta, kiertää  
27km:n mittaisen LHC  
renkaan ympäri yli 11000  
kertaa sekunnissa!







SUISSE  
FRANCE

CMS

LHCb

ATLAS

CERN Meyrin

CERN Prévessin

SPS 7 km

ALICE

LHC 27 km



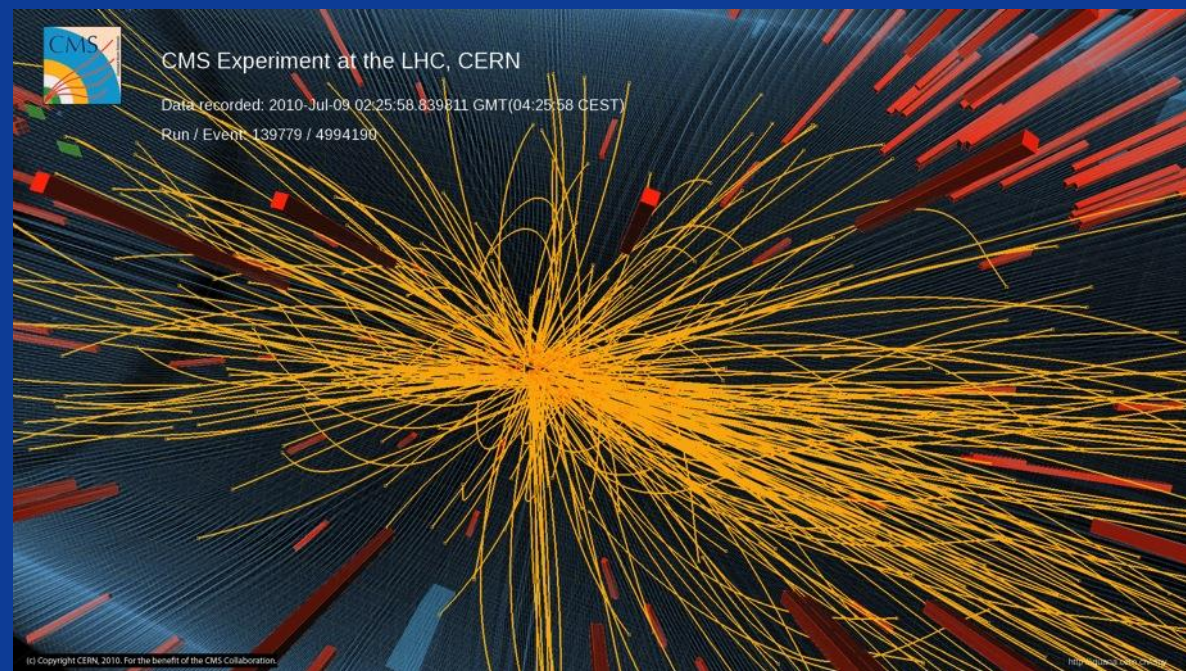
# Yksi maailmankaikkeuden kylmimmistä paikoista!

Lämpötila -271 Celsius-astetta, ts. 1,9 astetta absoluuttisen nolapisteen yläpuolella, tekee LHC:n kryostaatista kylmemmän kuin ulkoavaruus.



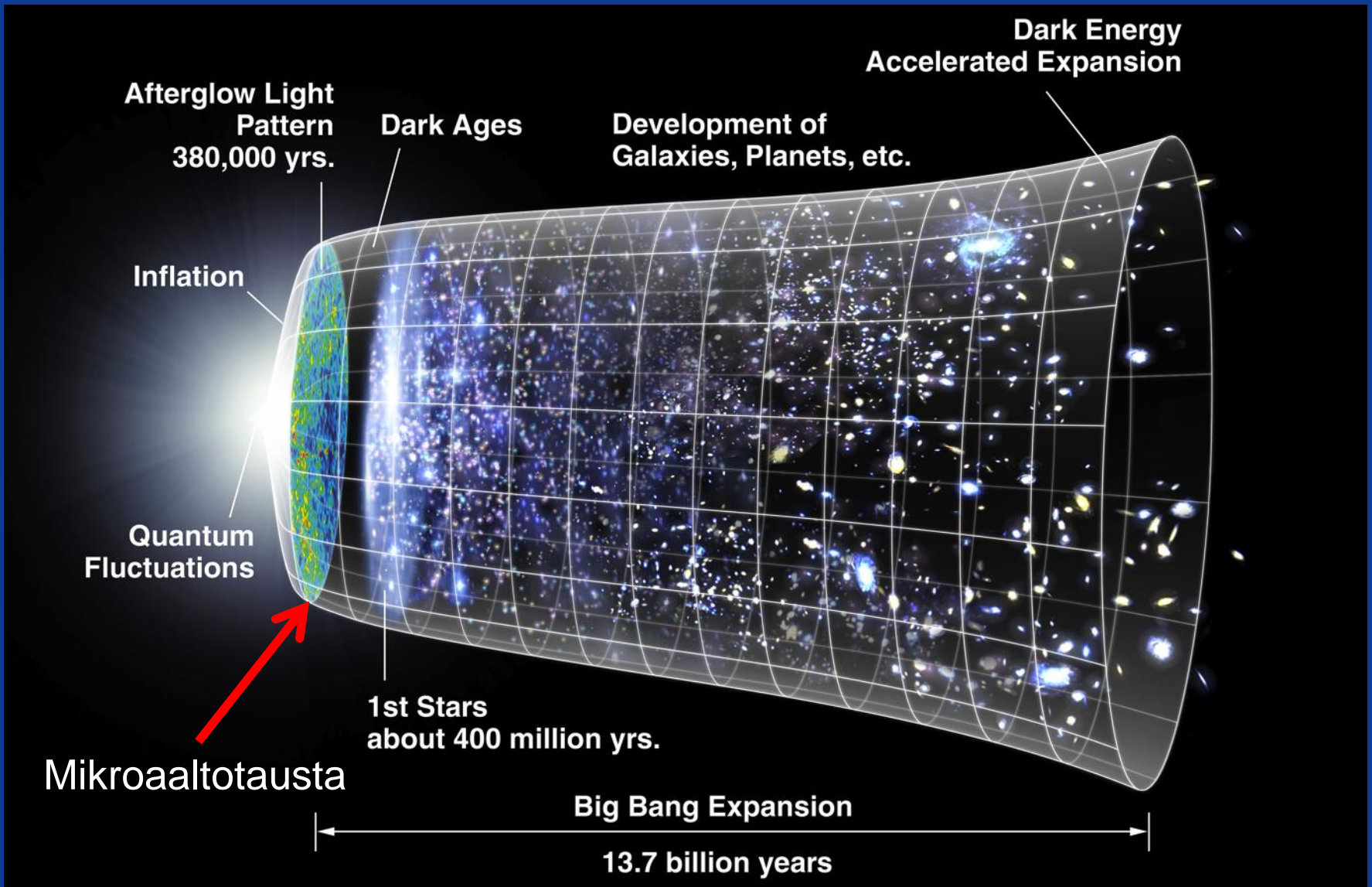
# Yksi maailmankaikkeuden kuumimmista paikoista!!

Kahden  
korkeaenergisien  
protonisuihkun törmäys  
luo äärimmäisen  
pieneen tilavuuteen ja  
hyvin lyhyeksi aikaa  
lämpötiloja, jotka ovat  
yli miljardi kertaa  
korkeampia kuin  
aurion ytimen  
lämpötila.



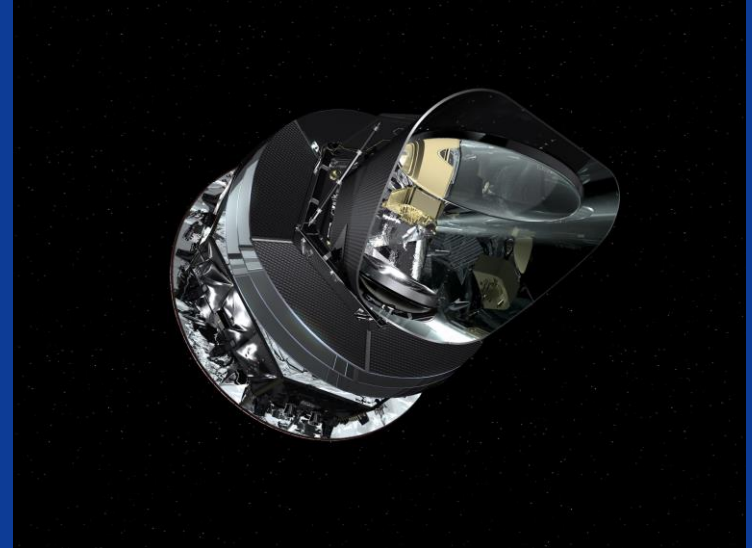
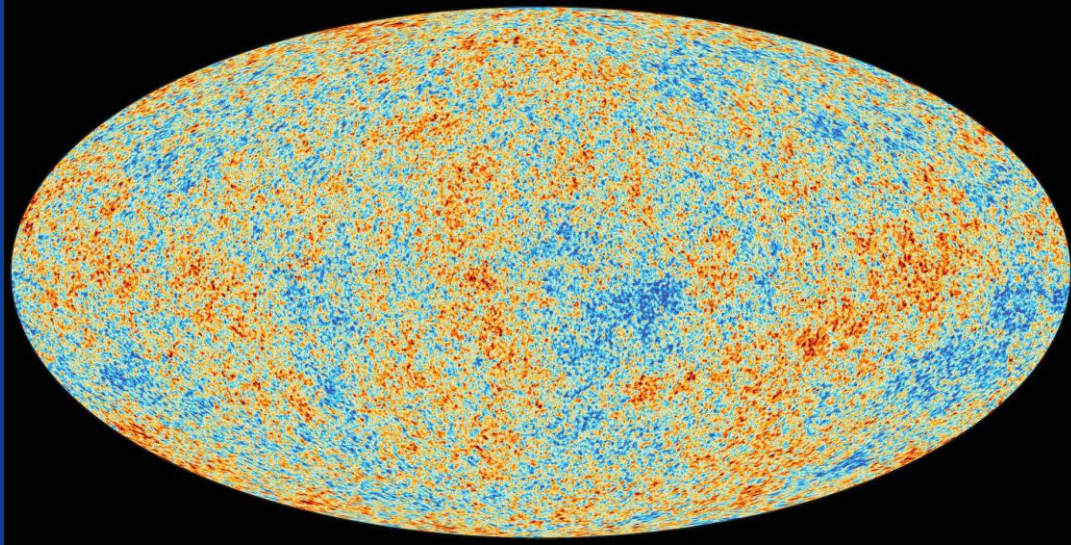


# Tutkimuskohde: Big Bang





# Mikroaaltotausta – Planck tutkimussatelliitti



Mikroaaltosäteilyn jakauma yli koko taivaankannen: paljastaa aineen jakauman alkuräjähdyksen jälkeisessä universumissa.

Fysiikan Nobel-palkinnot 1978 (mikroaaltotaustan löytäminen) ja 2019 (ilmiön selitys).

# Näkymä maailmankaikkeuteen



Atacama Large  
Millimeter Array

# Näkymä maailmankaikkeuteen



Mauna Kea  
Observatory

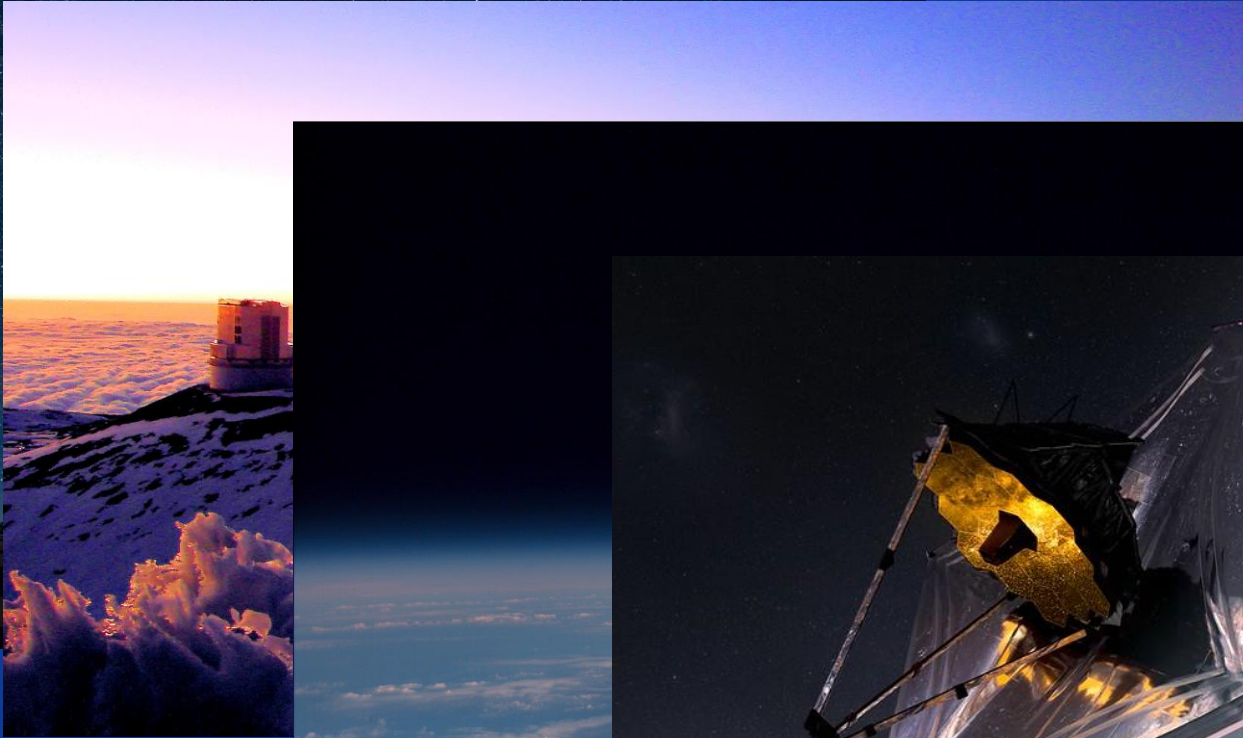


# Näkymä maailmankaikkeuteen



Hubble Space  
Telescope

# Näkymä maailmankaikkeuteen

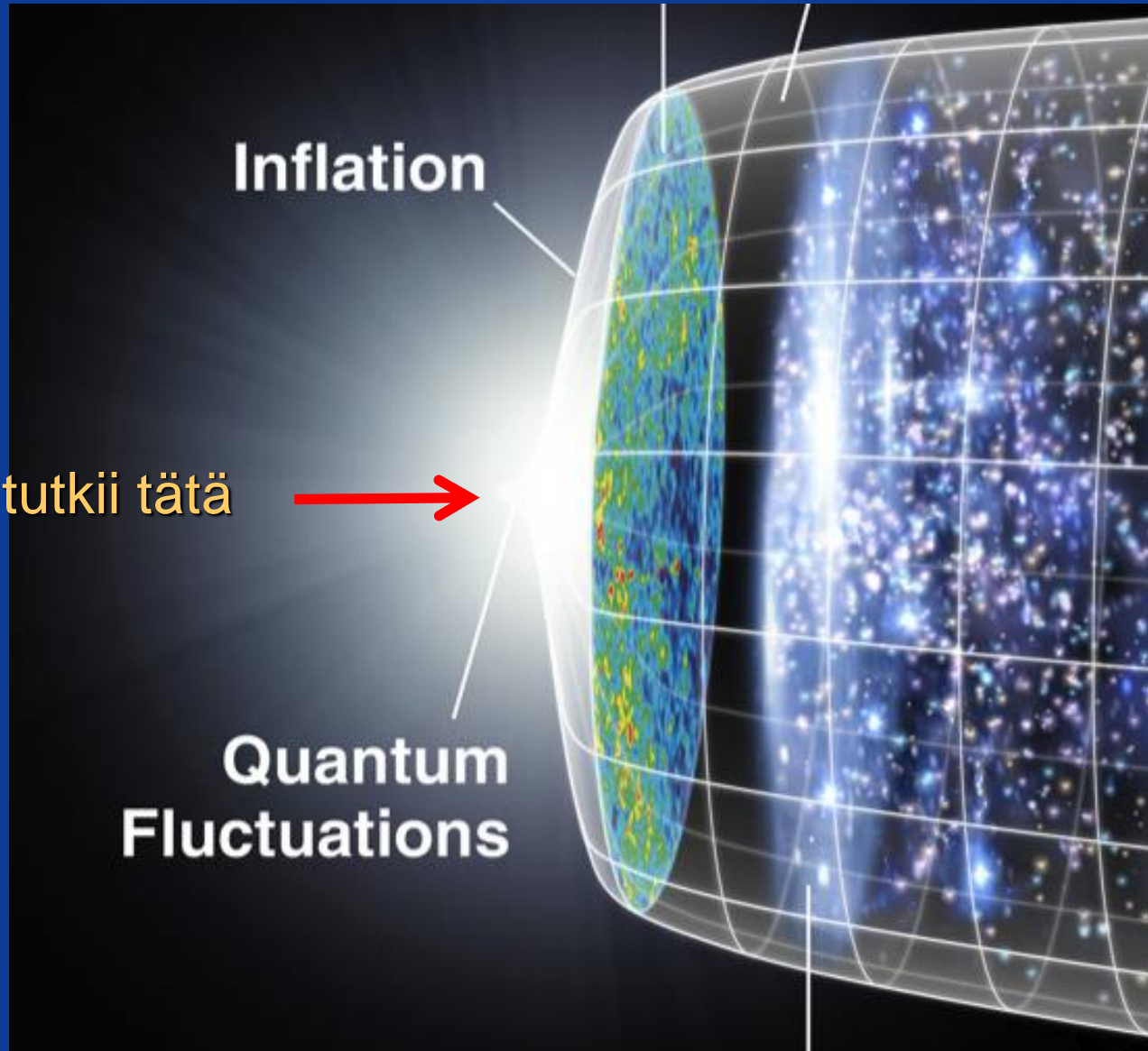
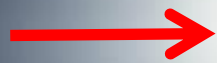


James Webb  
Telescope



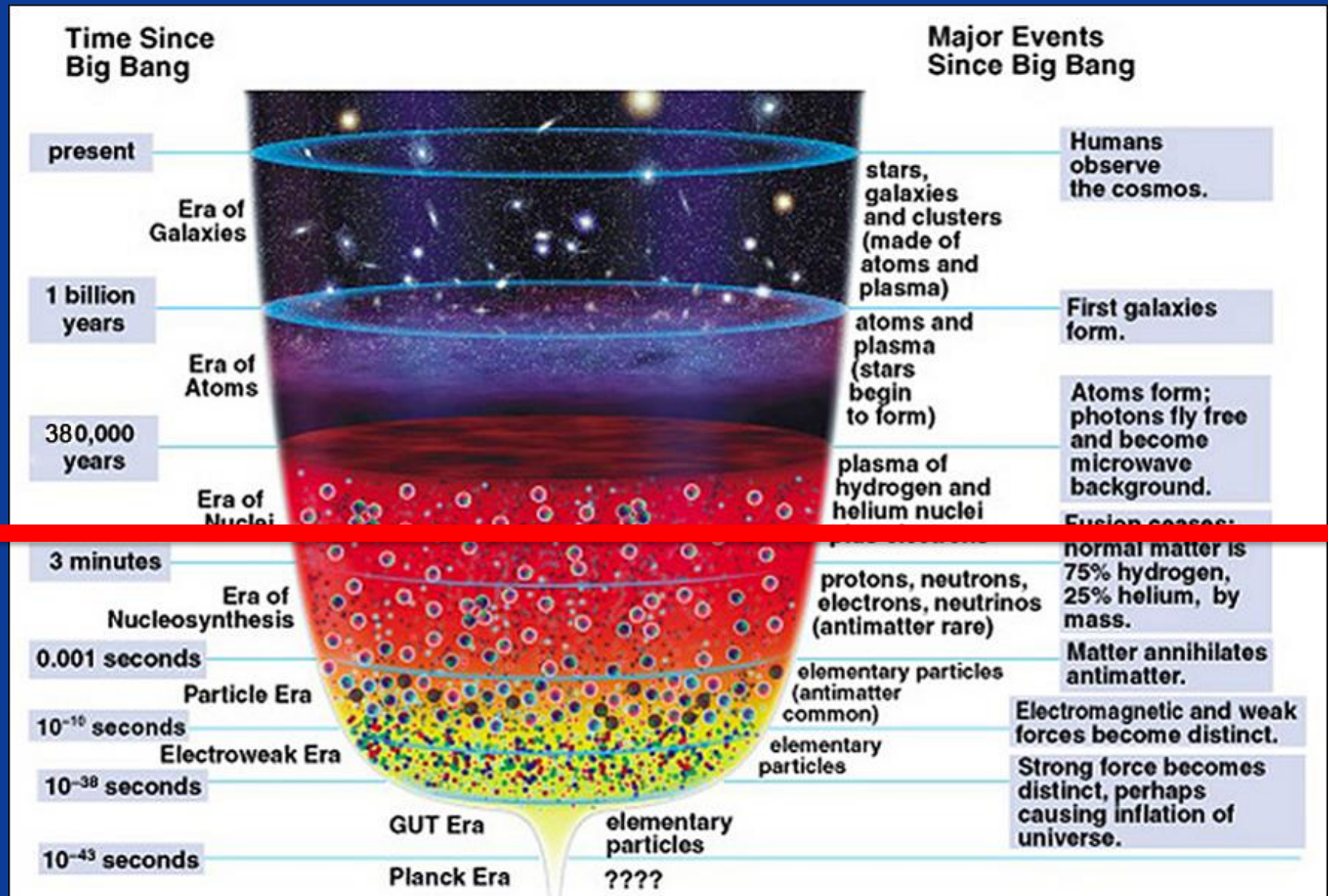
# Näkymä alkuhetkeen: Big Bang

CERN tutkii tätä





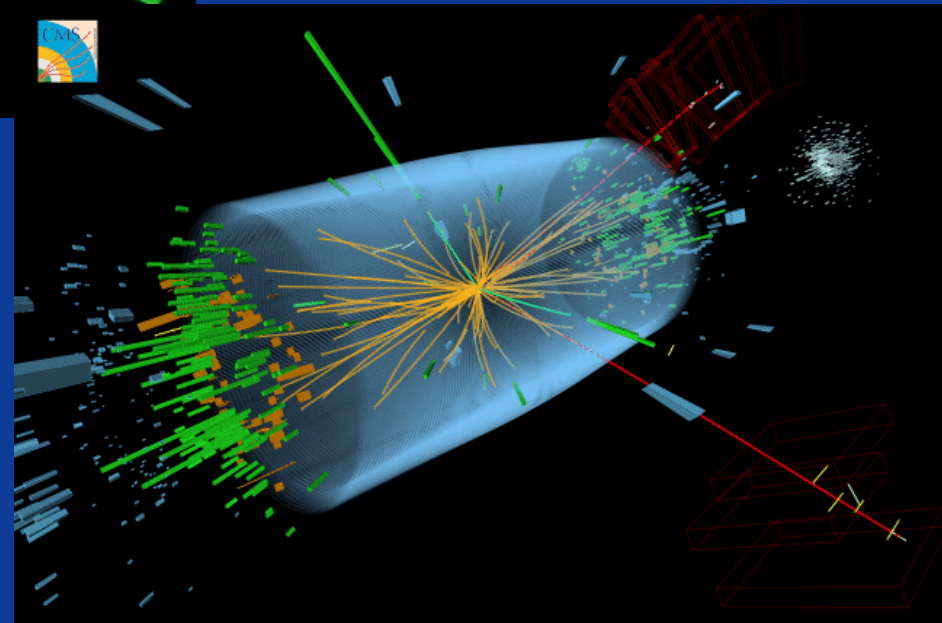
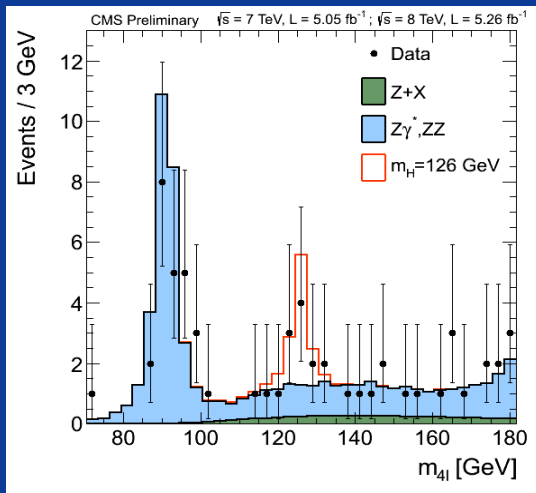
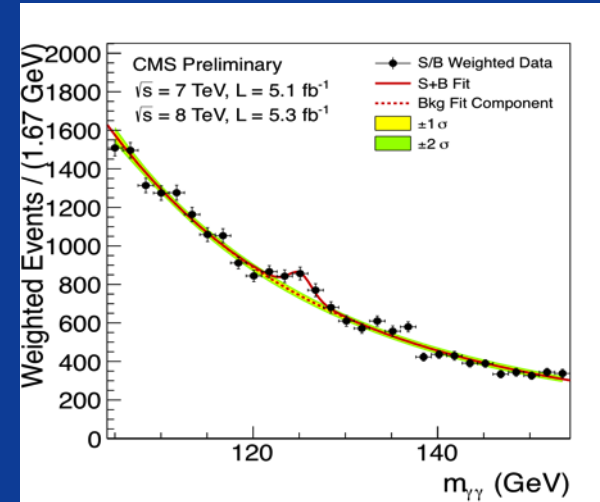
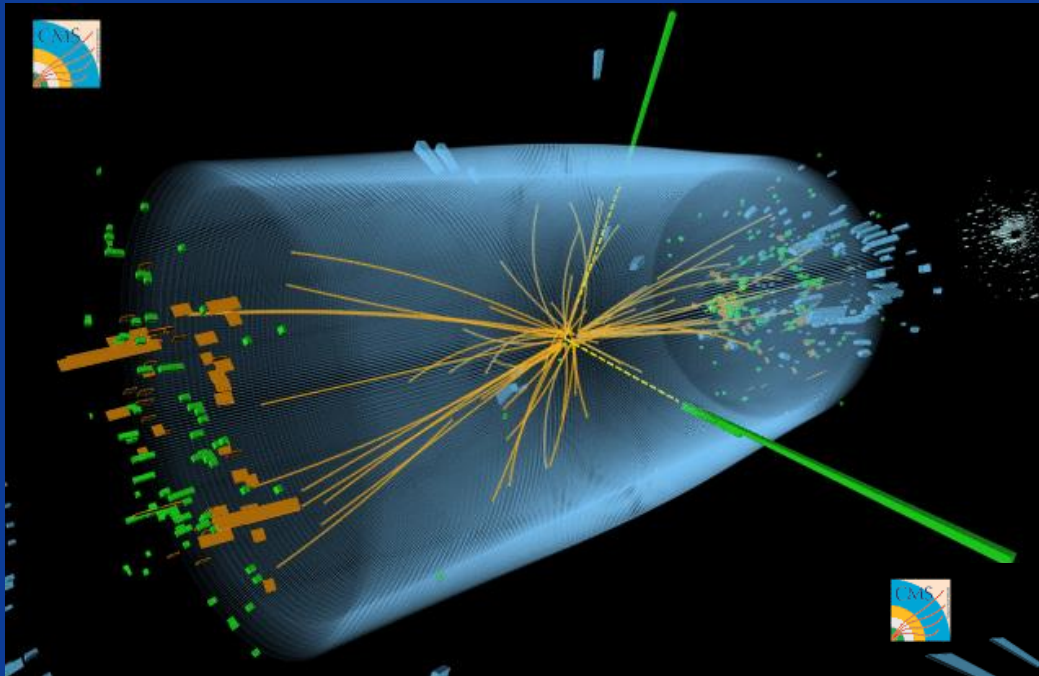
# Big Bang: CERN:in aikaikkuna







# Tutkimuskohde: Higgs:in bosoni



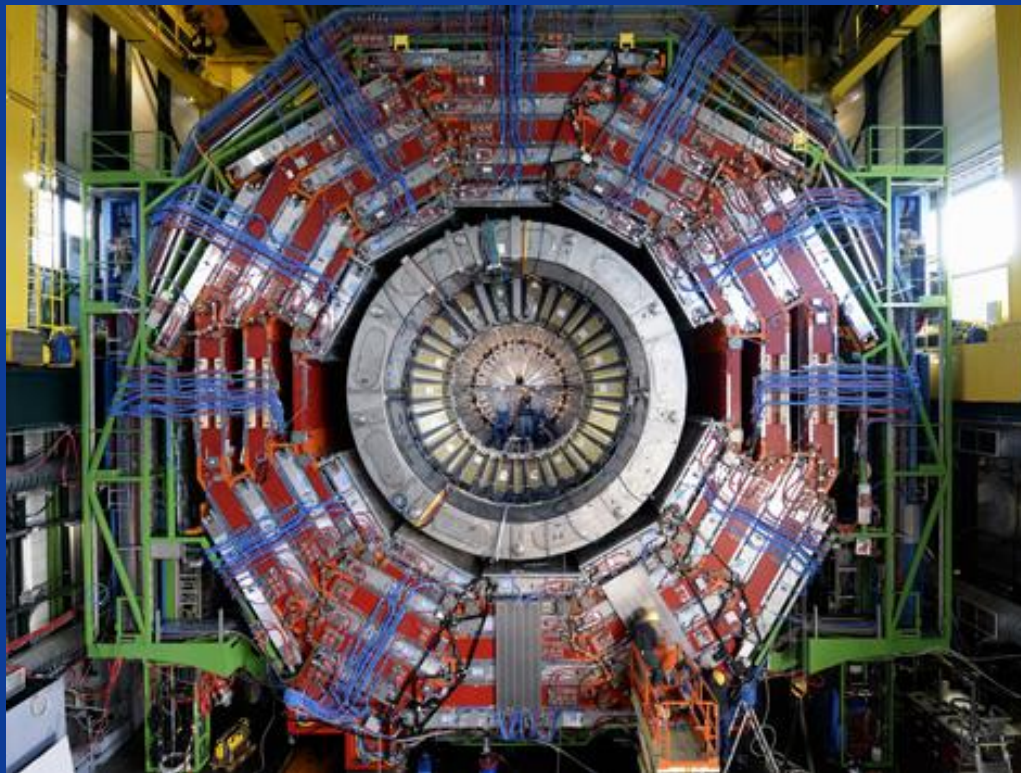
# Nobel 2013: Englert ja Higgs



*"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider".*



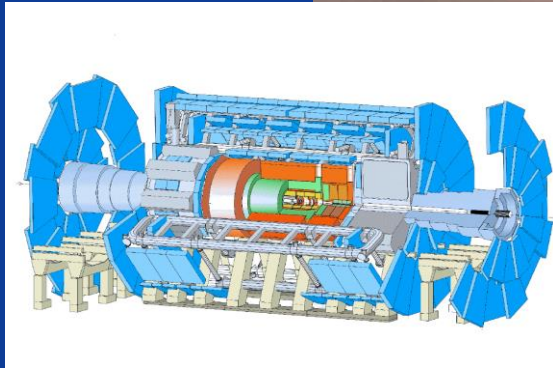
# CERNin tutkimus tehdään kaikkien aikojen kookkaimmilla ja monimutkaisimmilla ilmaisimilla



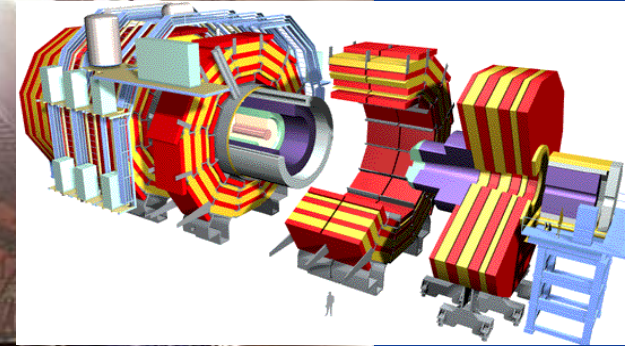
Havaitakseen ja tallentaakseen signaaleja 600 miljoonasta protonitörmäyksestä sekunnissa, CERNin tutkijat rakentavat valtavia ilmaisimia, jotka kykenevät mittaamaan minimaalisen pieniä hiukkasia suurenmoisella tarkkuudella.

# Neljä suurta LHC-koetta

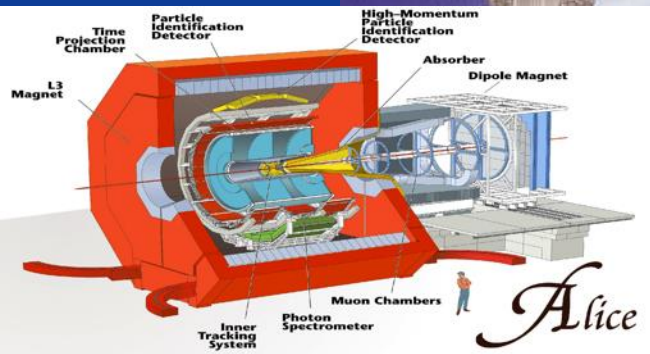
**ATLAS**  
A Toroidal  
LHC Apparatus



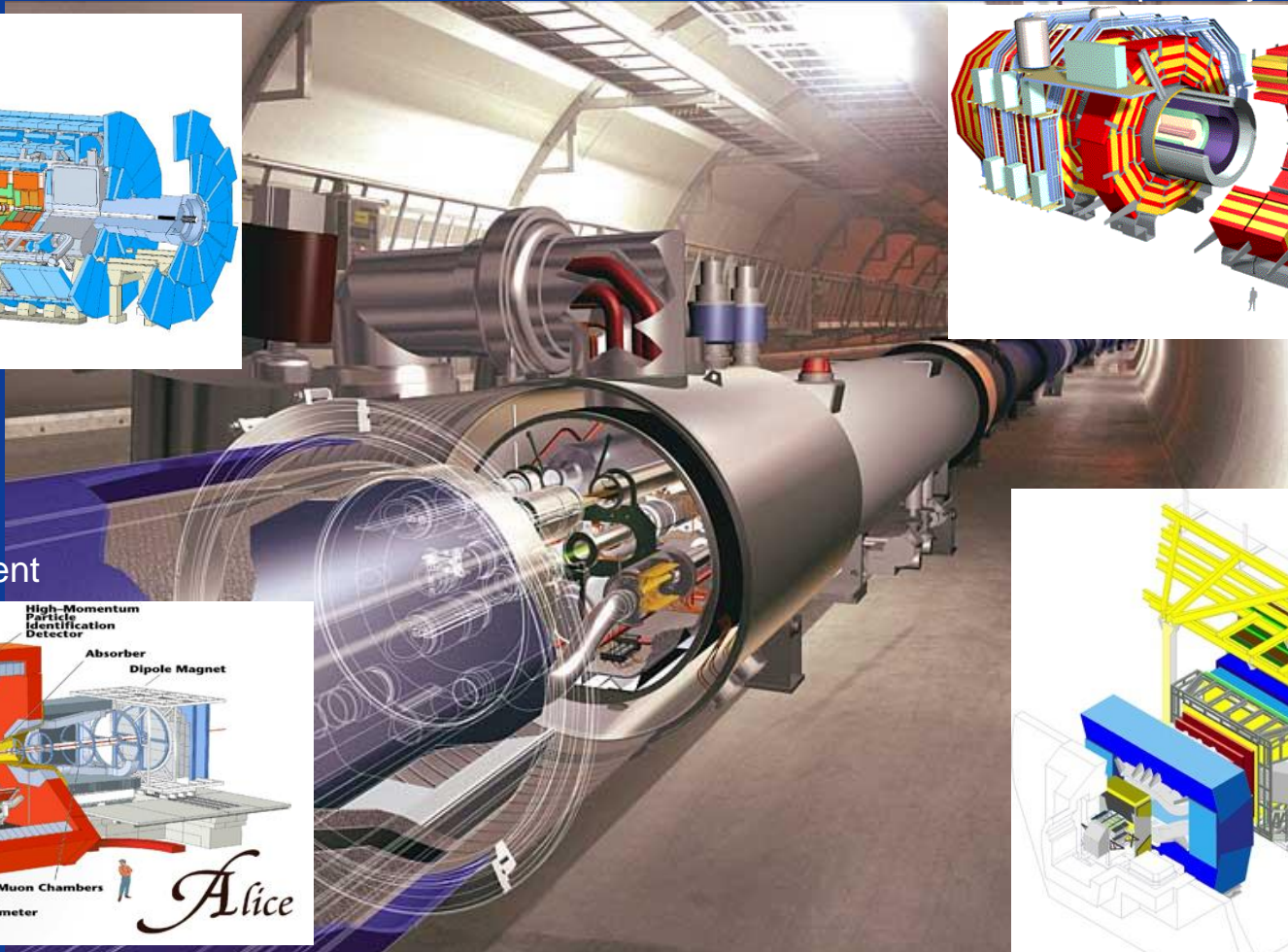
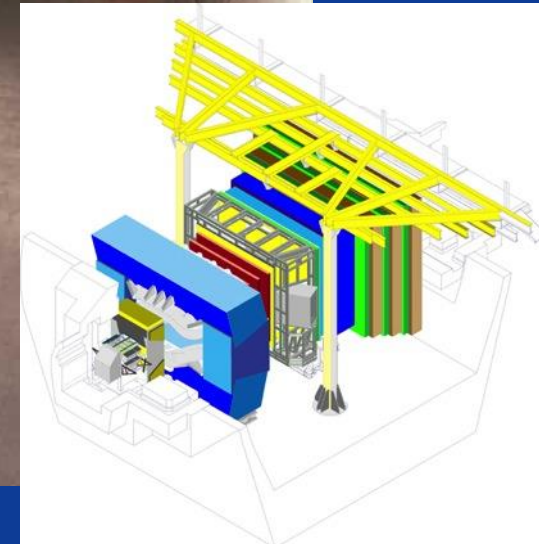
**CMS**  
Compact Muon Solenoid



**ALICE**  
A Large Ion  
Collider Experiment



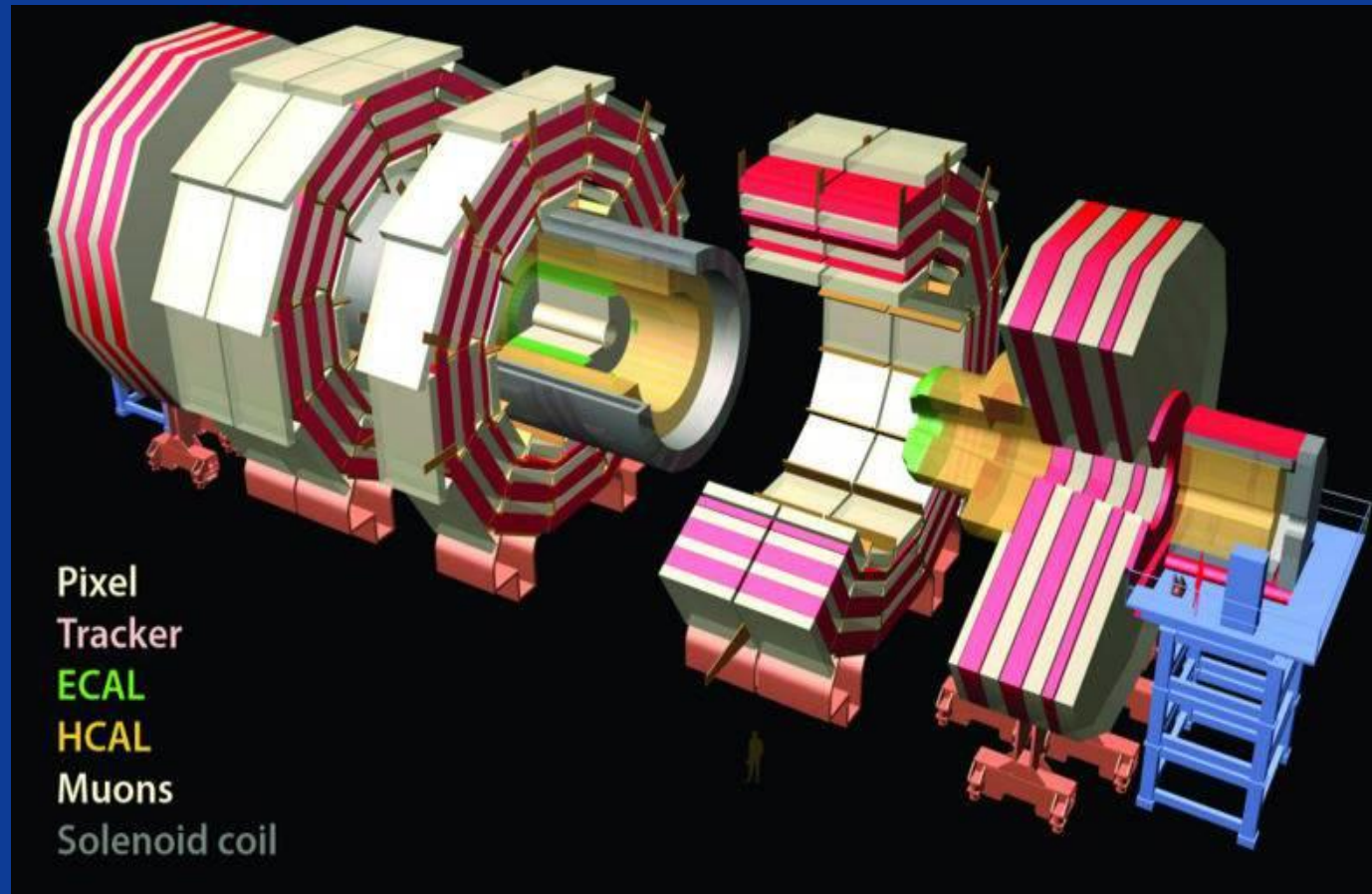
**LHCb**



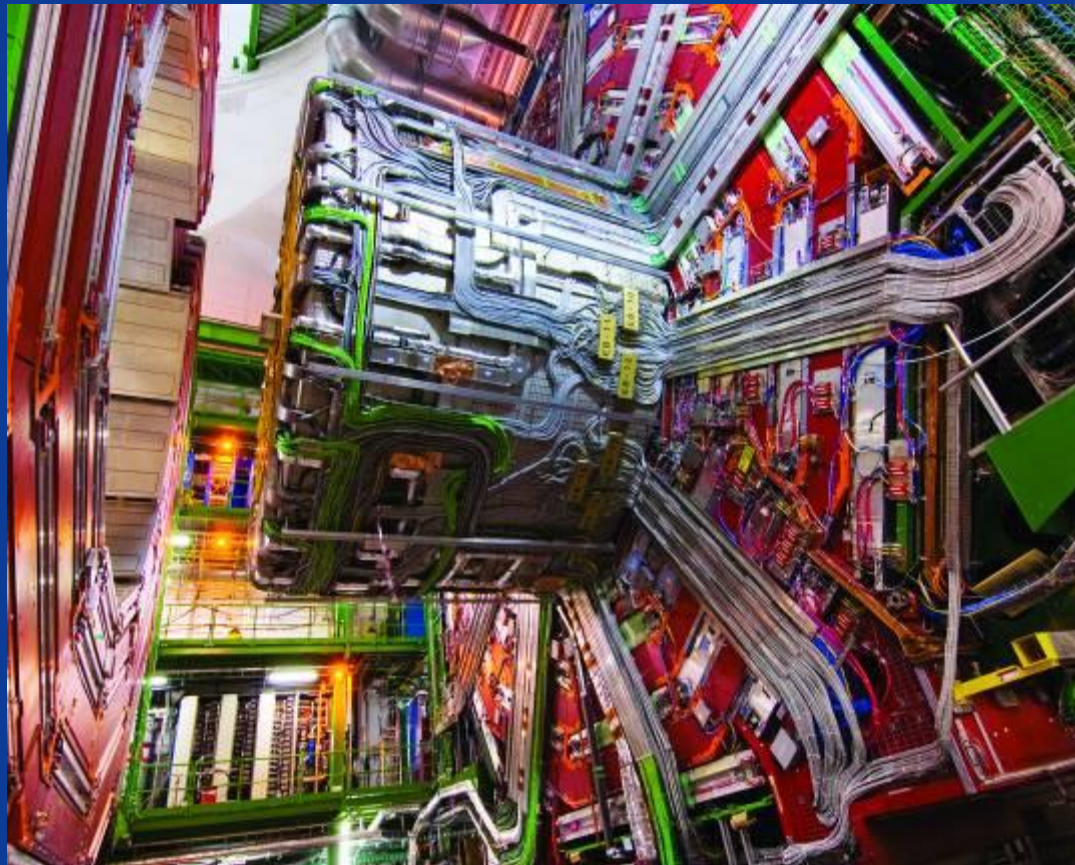


# Esimerkki: CMS ilmaisin

- Suunnittelu ja rakentaminen vaati n. 2000 tutkijalta ja insinööritä yli 20 vuotta
- Halkaisija n. 15m ja pituus 29m
- Painaa 14000 tonnia eli n. kaksi kertaa niin paljon kuin Eiffel-torni
- CMS:n solenoidi-magneetti on suurin ja voimakkain koskaan rakennettu



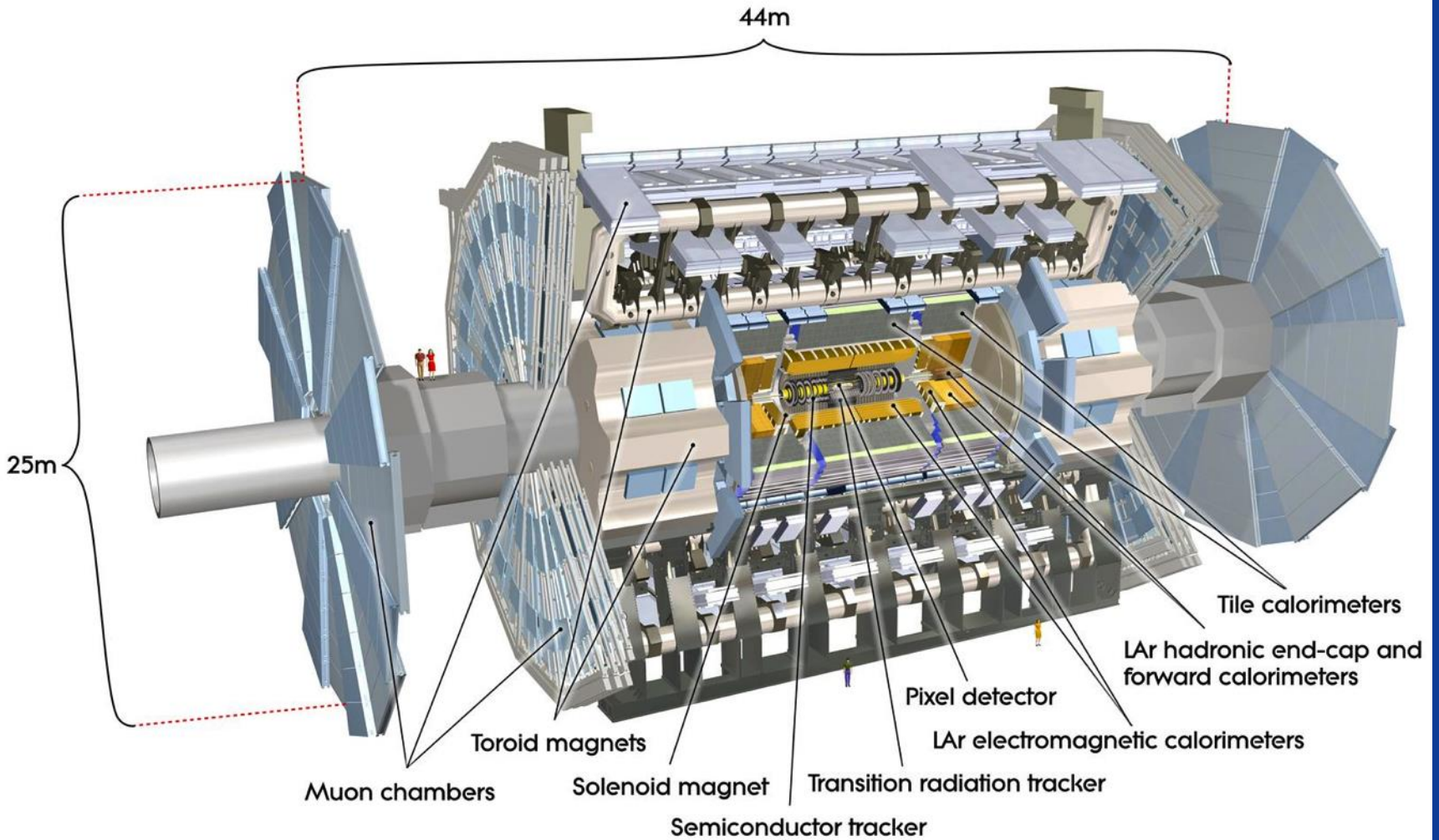
# ...rakennettu hämmästyttävällä tarkkuudella...



- CMS-ilmaisimien on kuin 75 miljoonan pikselin 3-ulotteinen kamera, joka ottaa 40 miljoonaa kuvaa sekunnissa

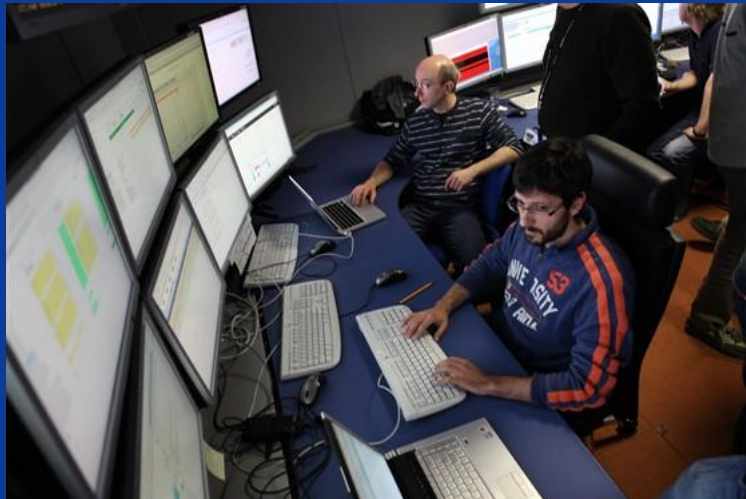


# Vertailun vuoksi: Atlas-ilmaisin



# Ilmaisimen kontrollihuone

## ajon aikana miehitys 24/7





Hieman yleistietoa CERNistä

# CERN (2023)

- Budjetti: 1453 miljoonaa CHF
- 23 jäsenmaata:
  - Alankomaat, Belgia, Bulgaria, Espanja, Iso-Britannia, Israel, Italia, Itävalta, Kreikka, Norja, Portugali, Puola, Ranska, Romania, Ruotsi, Saksa, Serbia, Slovakia, Suomi, Sveitsi, Tanska, Tsekki, Unkari
- Liitännäisjäsenet:
  - Brasilia, Eesti, Intia, Kroatia, Kypros, Latvia, Liettua, Pakistan, Slovenia, Turkki, Ukraina
  - Eesti ja Slovenia siirtymässä pian täysjäseniksi
  - Chile ja Irlanti anoneet liitännäisjäsenyyttä
- Tarkkailijat:
  - Euroopan Unioni, Japani, UNESCO, Yhdysvallat –  
*Venäjän ja JINR:n tarkkailijastatus keskeytetty*

# CERNin mandaatti

- Palvelulaitos:
  - rakentaa suuret kiihdyttimet eurooppalaisten (ja muiden maiden) hiukkasfyysikoiden käyttöön
- Tekee tutkimus- ja kehitystyötä hiukkasilmaisimien ja uusien kiihdyttimien rakentamiseksi sekä niiden soveltamiseksi muille aloille.
  - CERNissä tehdään siten hiukkasfysiikkaa, ydinfysiikkaa, materiaalfysiikkaa, ja kehitetään sovellutuksia esim. lääketieteeseen
- Osallistuu oman fyysikkoryhmän avulla hiukkasfysiikan kokeisiin. CERNin tutkimusfyysikoita on alle sata kokonaishenkilökunnasta (tot. 2500).

# Tutkimustyö CERNissä

- Suuret koelaitteistot kiihdyttimien yhteyteen rakennetaan yliopistojen ja tutkimuslaitosten toimesta, yhteisellä rahoituksella (vastuut ja rahoitus sovitaan Memorandum of Understanding asiakirjoilla)
- Noin 12000 tutkijaa tekee tutkimustyötä CERNissä, oleskellen siellä viikosta vuosiin projektin tilanteen ja edistymisen mukaan. Rahoitus pääasiassa omien instituuttien toimesta.
- CERNiä ei siis olisi ilman yliopistoja ja kansallisia tutkimuslaitoksia. Kaikki suuret eurooppalaiset yliopistot ovat CERNin tutkimuksessa mukana.

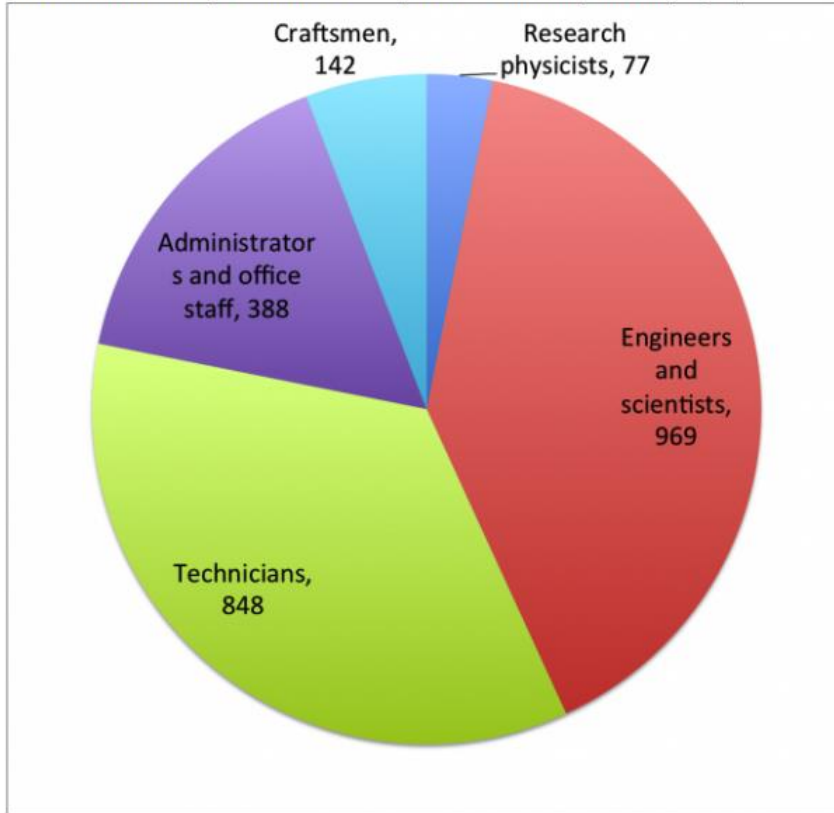
# Jokaisena arkipäivänä n. 9000 henkeä tulee CERNiin töihin



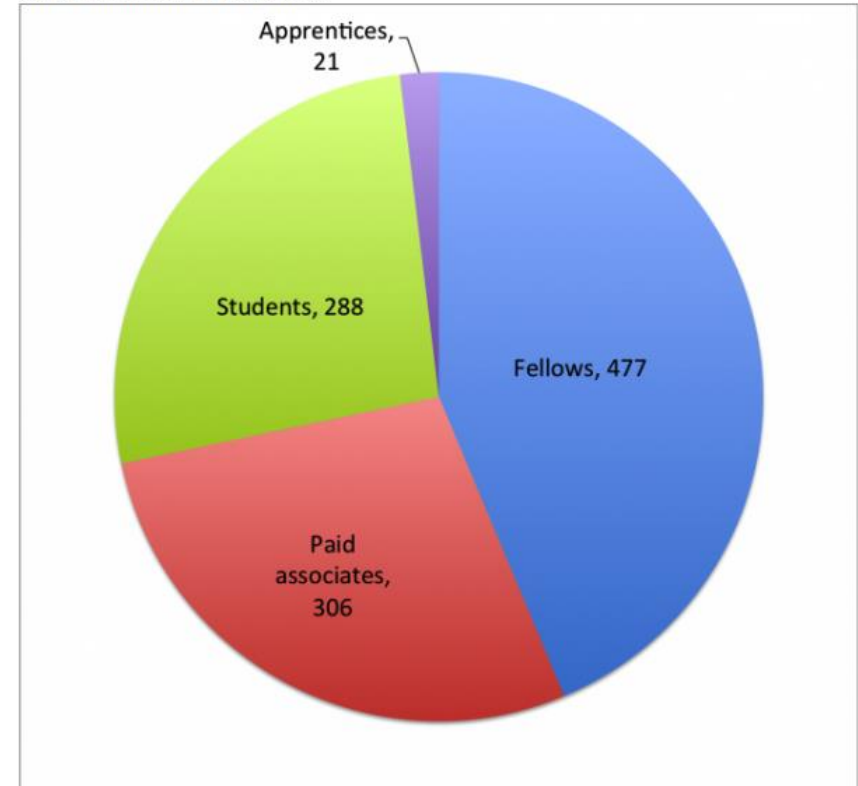
Joukossa fyysikkoja, insinöörejä, tekniikkoja,  
asentajia, hallintohenkilökuntaa...

# CERNin henkilökunta

Staff members as of 31 December 2011 (includes externally funded): 2424



Other members of personnel







# Suomi ja CERN



# Suomi CERNissä

- Jäsen vuodesta 1991, tämänhetkinen jäsenmaksu (2023) n. 16,1 milj. EUR (1,35% kokonaisbudjetista)
- Suomalaiset tutkijat CERNin tutkimuksessa vuodesta 1966 (aluksi Helsingin yliopistosta, sittemmin TKK:sta ja Jyväskylän yliopistosta)
- Fysiikan tutkimuslaitos (HIP) koordinoi suomalaista tutkimusta CERNissä.
  - Mukana Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Lappeenrannan Teknillinen yliopisto ja Tampereen Teknillinen yliopisto.
- Suomalaisia CERNissä hieman yli 50, joista n. 3/4 CERNin palkoilla, muut muutamaa poikkeusta lukuunottamatta HIPin palkkaamia.

# Fysiikan tutkimuslaitos

## Helsinki Institute of Physics (HIP)

- Mandaatti:
  - Fysiikan perustutkimus sekä soveltava tutkimus
  - Fysiikan tutkimus ja teknologian kehitystyö kansainvälisissä kiihdytinlaboratorioissa
- Tohtorikoulutus fysiikassa ja teknologiassa
- Kansallinen koordinaatiotehtävä:
  - Suomalainen tutkimusyhteistyö CERNissä, Fermin laboratoriossa (Chicago, USA), ja FAIR-tutkimuslaitoksessa (Darmstadt, Saksa, rakenteilla)

# Missä olemme mukana

- Kokeelliset hiukkasfysiikan tutkimusprojektit: CMS, TOTEM, ALICE
- Kokeelliset ydinfysiikan tutkimusprojektit: ISOLDE
- Yhteistyö teoreettisessa fysiikassa
- Muut aktiviteetit: CLIC-kehitystyö, CLOUD-koe
- Lukioiden leirikoulujen järjestäminen, opettajien täydennyskoulutus

# CERNin lyhyt historia – idea

- 1949: Ehdotus Eurooppalaisen tutkimuslaitoksen perustamisesta – Louis de Broglie
  - Pysäytettävä aivovuoto Euroopasta
  - Edistettävä rauhan säilymistä Euroopassa



# CERNin lyhyt historia – perustaminen

- 1950-1951:  
Diplomaattista  
taustatyötä – Isidor  
Rabi, Pierre Auger,  
Edoardo Amaldi,  
François de Rose
- 1952-1953: Conseil  
Européen pour la  
Recherche Nucléaire  
– CERN, Geneve  
valitaan CERNin  
sijaintipaikaksi



# CERNin lyhyt historia – paikka ja aika

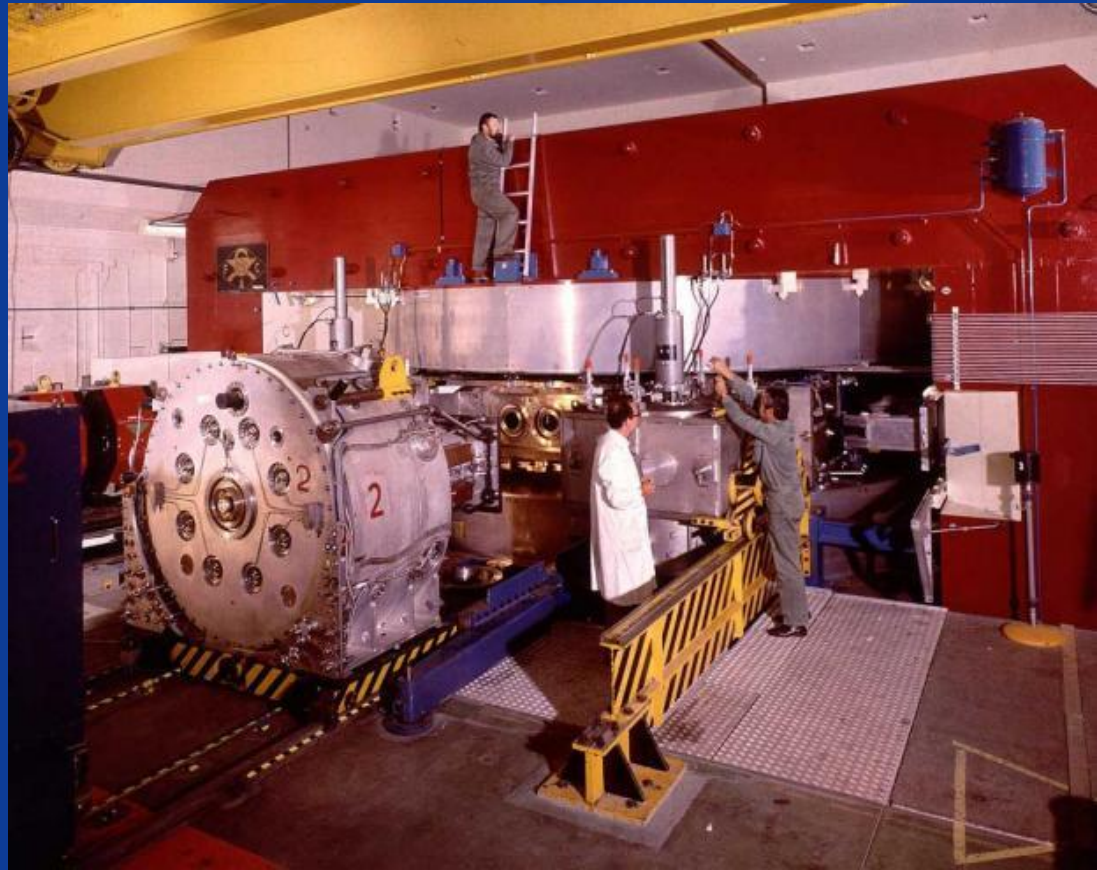
- 1954: Rakentaminen alkaa toukokuussa
- Peruskirjan ratifiointi 29.9.1954 – CERNin syntymäpäivä





# CERNin lyhyt historia – laitteisto

- 1957-1990: CERNin ensimmäinen hiukkaskiihdytin – Synchrocyclotron
- 1959-: Proton Synchrotron (PS)
- 1971-1984: ISR – ensimmäinen rengastörmäytin
- 1976-: SPS
- 1989-2000: LEP
- 2008-: LHC
- Tulevaisuus?: HL-LHC, CLIC?, FCC?, ...

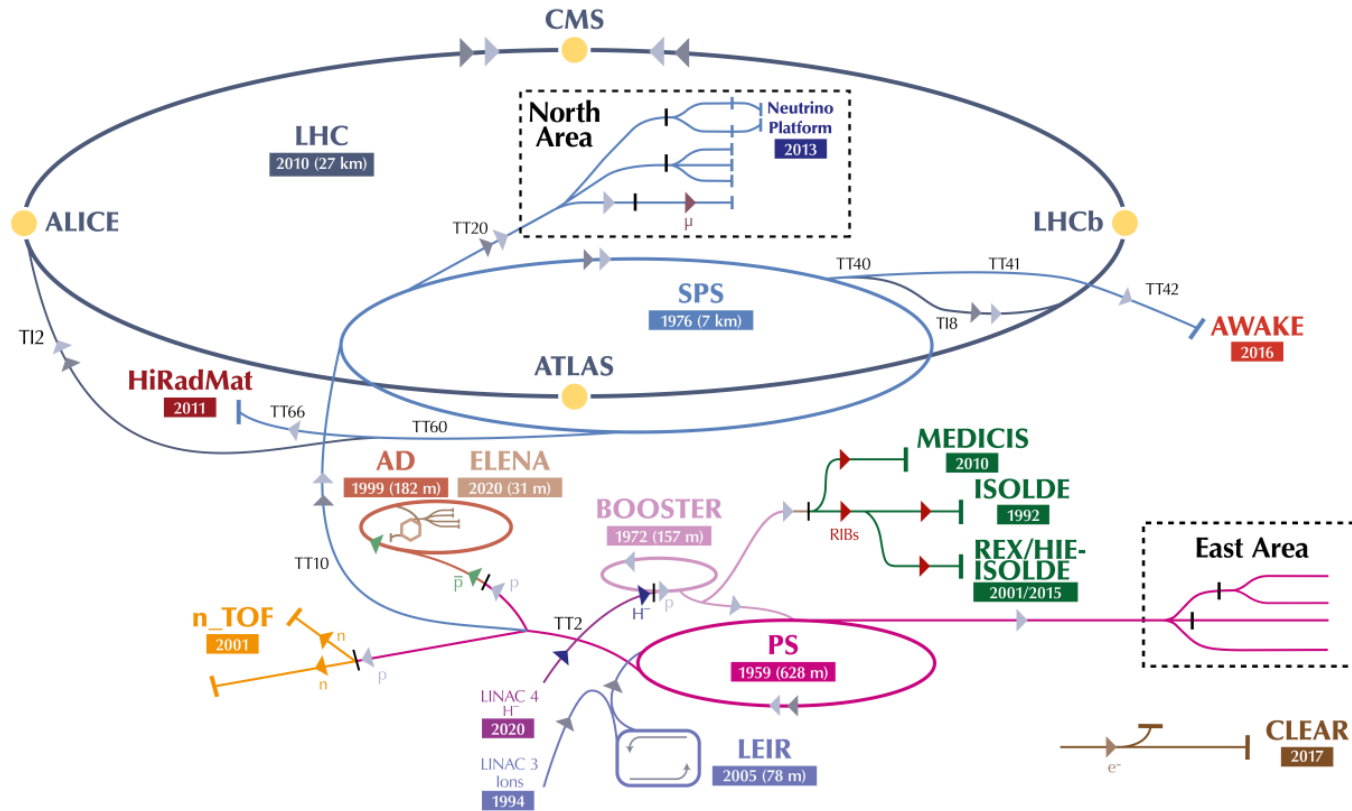


# CERNin lyhyt historia – tärkeimpiä löytöjä ja saavutuksia

- **1968: Monilankaverrannollisuuskammi** – Nobel 1992, Georges Charpak
- **1972: Stokastinen jäähdytys** – Simon van der Meer
- **1973: Neutraalit virrat** löydetään PS:n Gargamelle-kokeessa – Nobel 1979, Sheldon Glashow, Abdus Salam, Steven Weinberg
- **1983: W- ja Z-hiukkaset** löydetään SPS:n UA1- ja UA2-kokeissa – Nobel 1984, Carlo Rubbia, Simon van der Meer
- **1989: World Wide Web** – Tim Berners-Lee
- **1995: Ensimmäiset atomit antiainetta** tehdään LEAR:in PS210-kokeessa
- **2012: Higgsin-hiukkanen** löydetään LHC:n CMS ja Atlas-kokeissa – Nobel 2013, Peter Higgs, François Englert



# CERNin kiihdytinsuihkut ja kokeet



▶  $H^-$  (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶  $e^-$  (electrons) ▶  $\mu$  (muons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

# CERNin kiihdyttimet

- LHC: 7+7 TeV Large Hadron Collider, ympärysmitta 27 km
- SPS: 450 GeV Super Proton Synchrotron, ympärysmitta 6,9 km
- PS: 28 GeV Proton Synchrotron
- LINAC 3 ja 4: Injektorit suuremmille kiihdyttimille, joissa hiukkassuihkut synnytetään
- LEIR: Alhaisen energian isotooppi-injektori PS:lle ja sitä myöden LHC:lle
- BOOSTER: Injektori ISOLDE-isotooppiseparaattorille ja PS:lle
- AD: 100 MeV/c Antiproton Decelerator
- CLEAR: CERNin kiihdytinteknologian tutkimus- ja kehityslaitteisto

# CERNin kokeita

- LHC, 8 aktiivista: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, MoEDAL, TOTEM, FASER valmisteilla
- SPS, 7 aktiivista: AWAKE, NA58/COMPASS, NA61/SHINE, NA62, NA63, NA64, NA65/DsTau
- PS, 5 aktiivista: CLOUD, DIRAC, nTOF, ELENA valmisteilla
- AD, 6 aktiivista: ALPHA, ASACUSA, ATRAP, BASE, AEGIS ja GBAR valmisteilla
- ISOLDE: 54 aktiivista, 108 valmisteilla
- CLEAR: R&D tulevaisuuden kiihdytinteknologiaa varten
- AMS: Asennettu ISS:lle, kontrolli CERNistä
- Lisäksi kokeita eri säteilytys- ja neutronilaitteistoilla



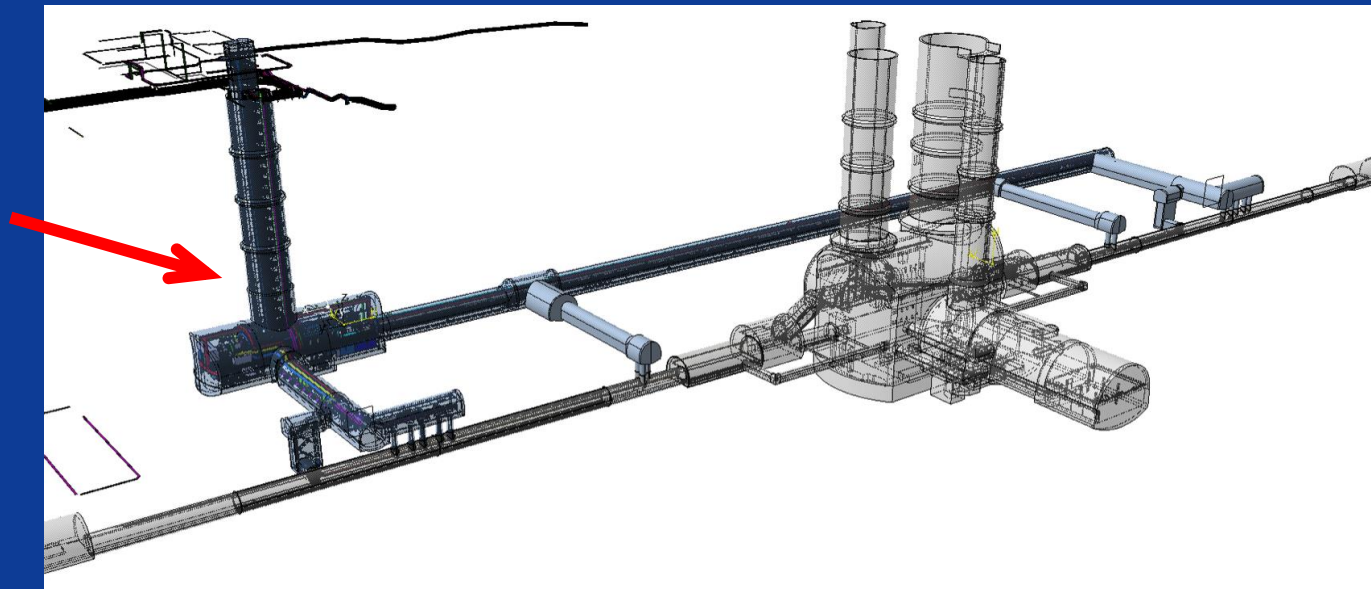
# Alpha-Magnetic Spectrometer (AMS)



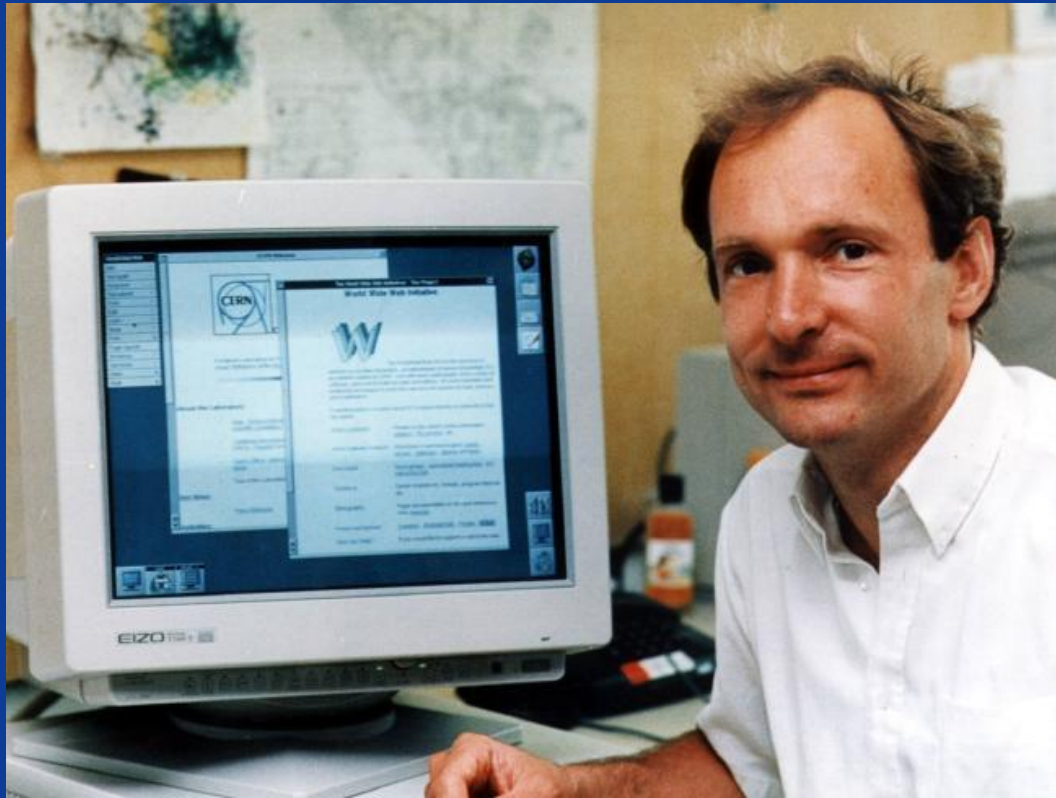
# Tulossa ihan kohta: HL-LHC

- LHC:n päivitys hiukkassuihkujen luminositeetin korottamiseksi CMS- ja ATLAS-kokeissa
- Luminositeetti = hiukkasten lukumäärä tietyssä paikassa ja ajassa (suurempi luminositeetti → suurempi törmäysten määrä aikayksikössä → nopeampi datankeruu → tarkempia mittauksia nopeammin)
- Toiminnassa LS3:n jälkeen (2029 →)

ATLAS-kokeen yhteyteen kaivetut uudet kuilu ja tunnelit HL-LHC:n laitteistoja varten (sama CMS:llä)



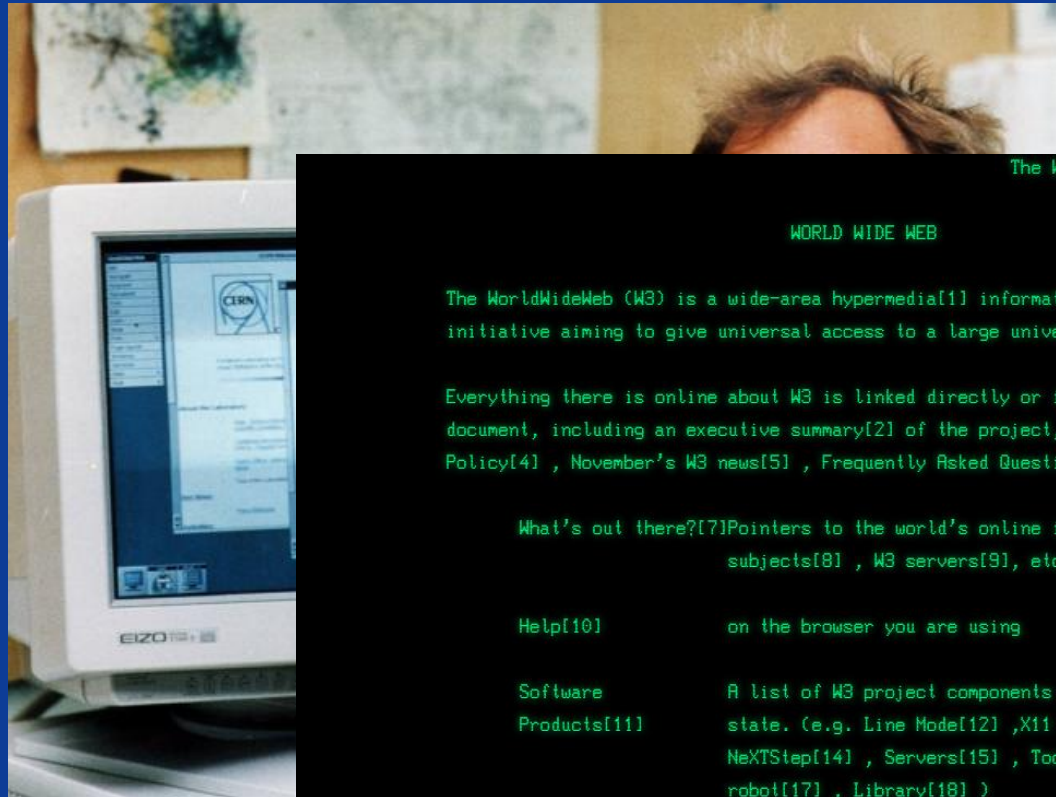
# Innovaatioita: WWW



Tim Berners-Lee



# Innovaatioita: WWW



The World Wide Web project

## WORLD WIDE WEB

The WorldWideWeb (W3) is a wide-area hypermedia[1] information retrieval initiative aiming to give universal access to a large universe of documents.

Everything there is online about W3 is linked directly or indirectly to this document, including an executive summary[2] of the project, Mailing lists[3] , Policy[4] , November's W3 news[5] , Frequently Asked Questions[6] .

What's out there?[7]Pointers to the world's online information, subjects[8] , W3 servers[9], etc.

Help[10] on the browser you are using

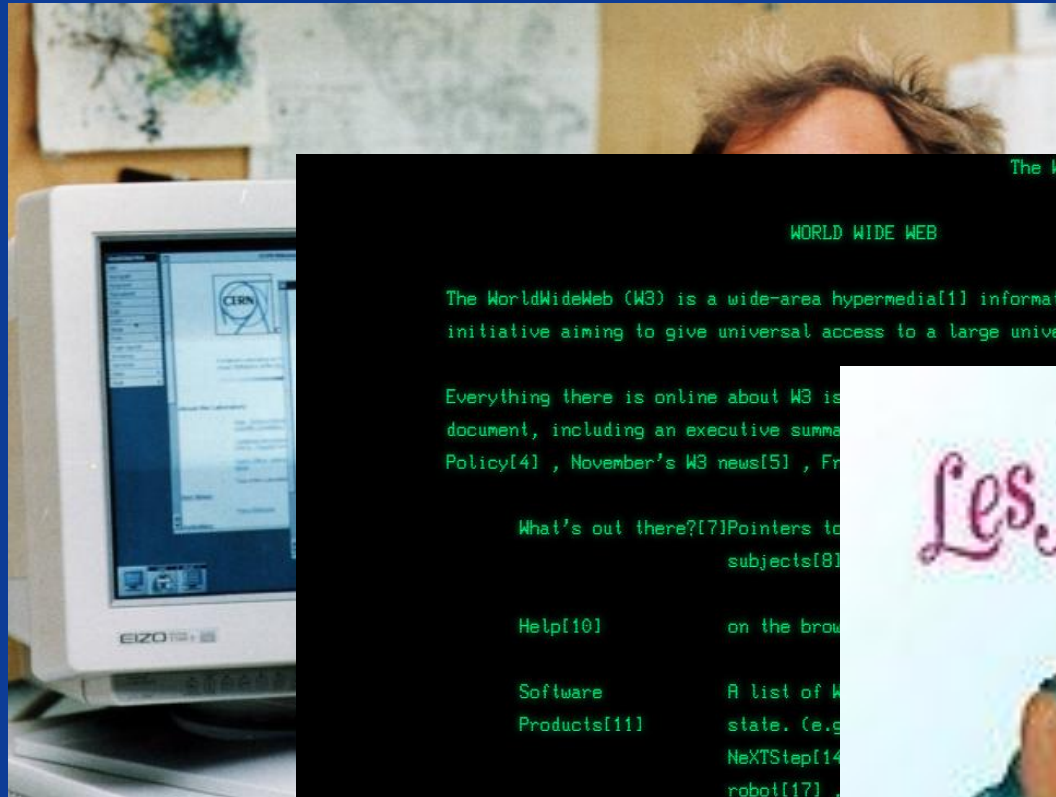
Software Products[11] A list of W3 project components and their current state. (e.g. Line Mode[12] ,X11 Viola[13] , NeXTStep[14] , Servers[15] , Tools[16] , Mail robot[17] , Library[18] )

Technical[19] Details of protocols, formats, program internals etc

<ref.number>, Back, <RETURN> for more, or Help: █

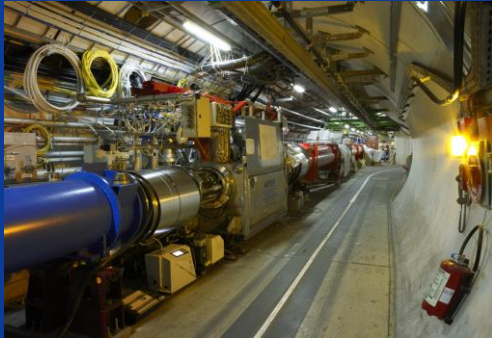
Ensimmäinen  
WWW-sivu

# Innovaatioita: WWW



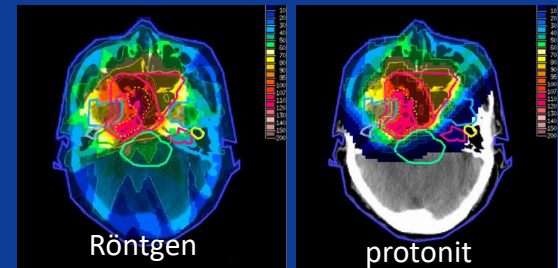
Ensimmäinen  
WWW-kuva

# Innovaatioita: Lääketieteellisiä sovelluksia



## Hadroniterapia

~30'000 kiihdytintä maailmanlaajuisesti  
~17'000 lääketieteellisessä käytössä



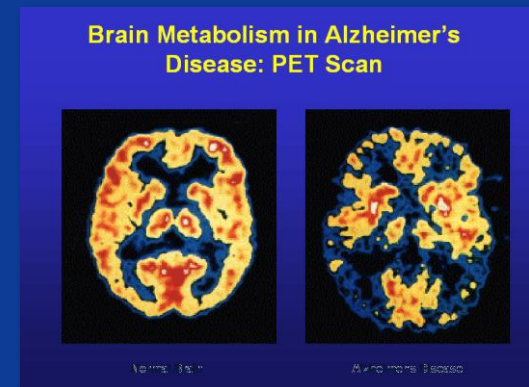
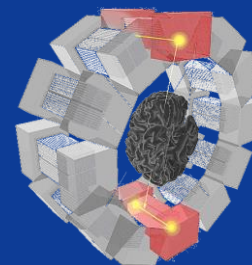
>100'000 potilasta maailmanlaajuisesti (45 yksikköä)  
>50'000 potilasta Euroopassa (14 yksikköä)



## Kuvantaminen

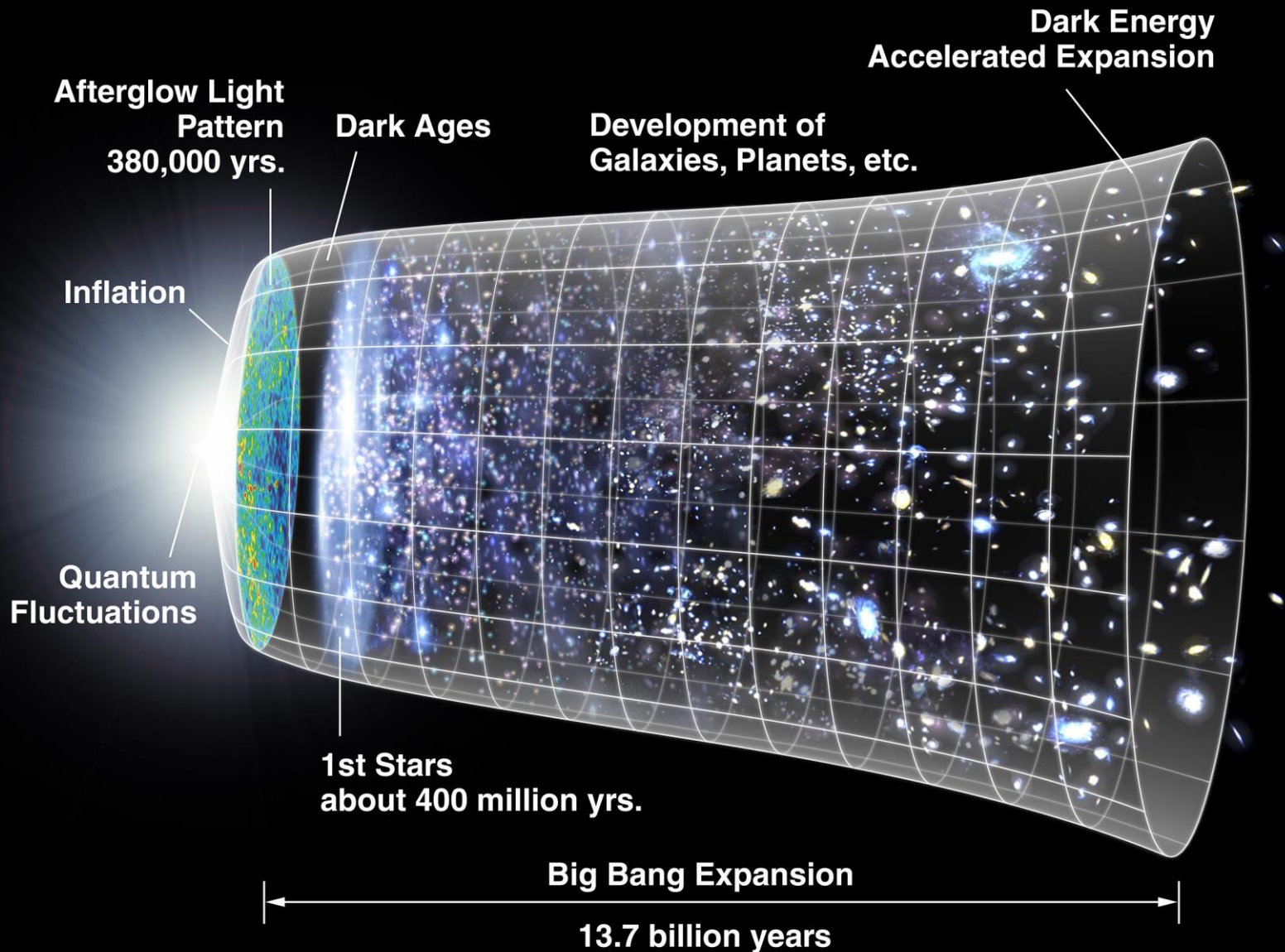


PET skanneri

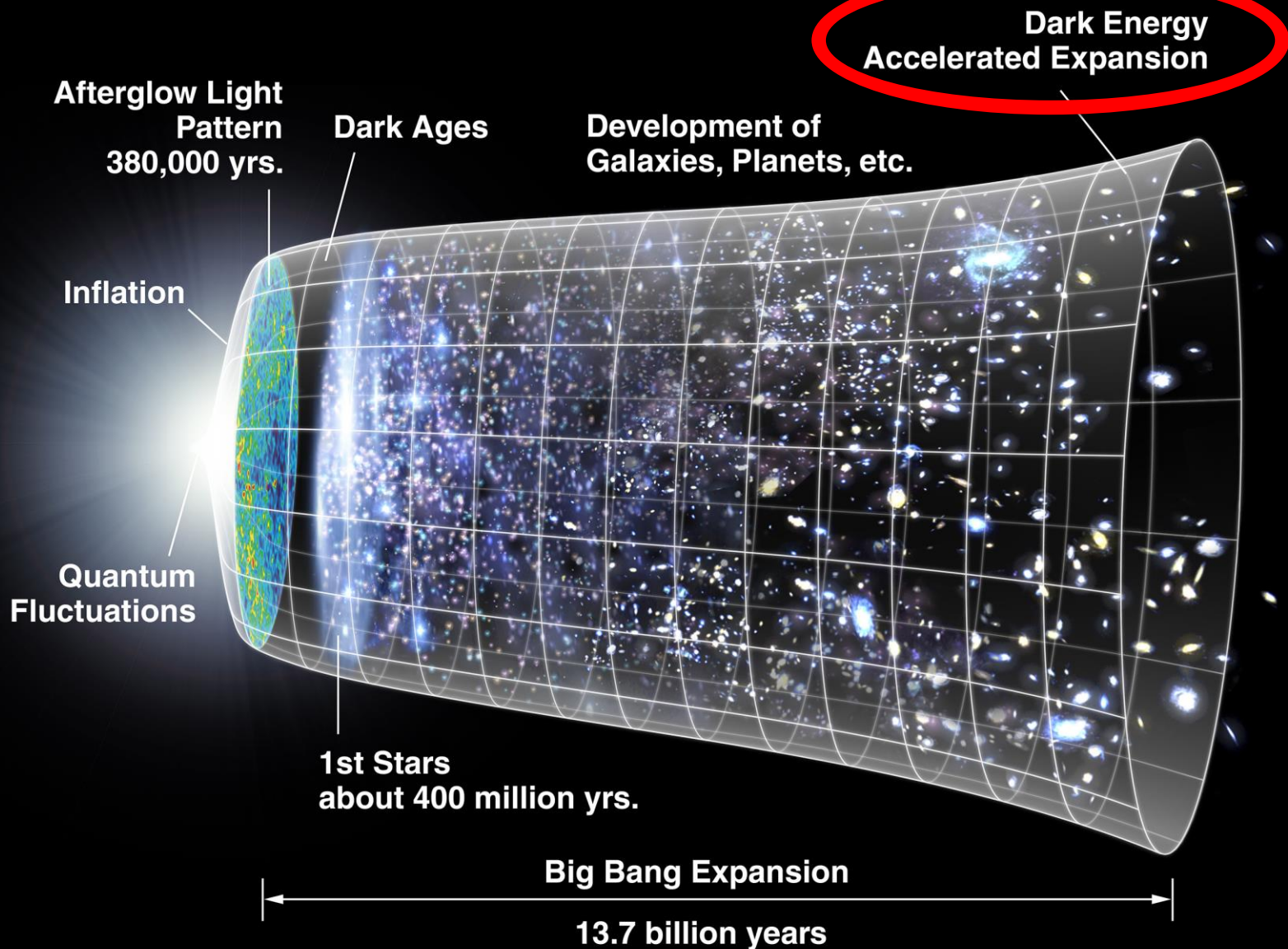




# Mitä seuraavaksi? (avoimia kysymyksiä)

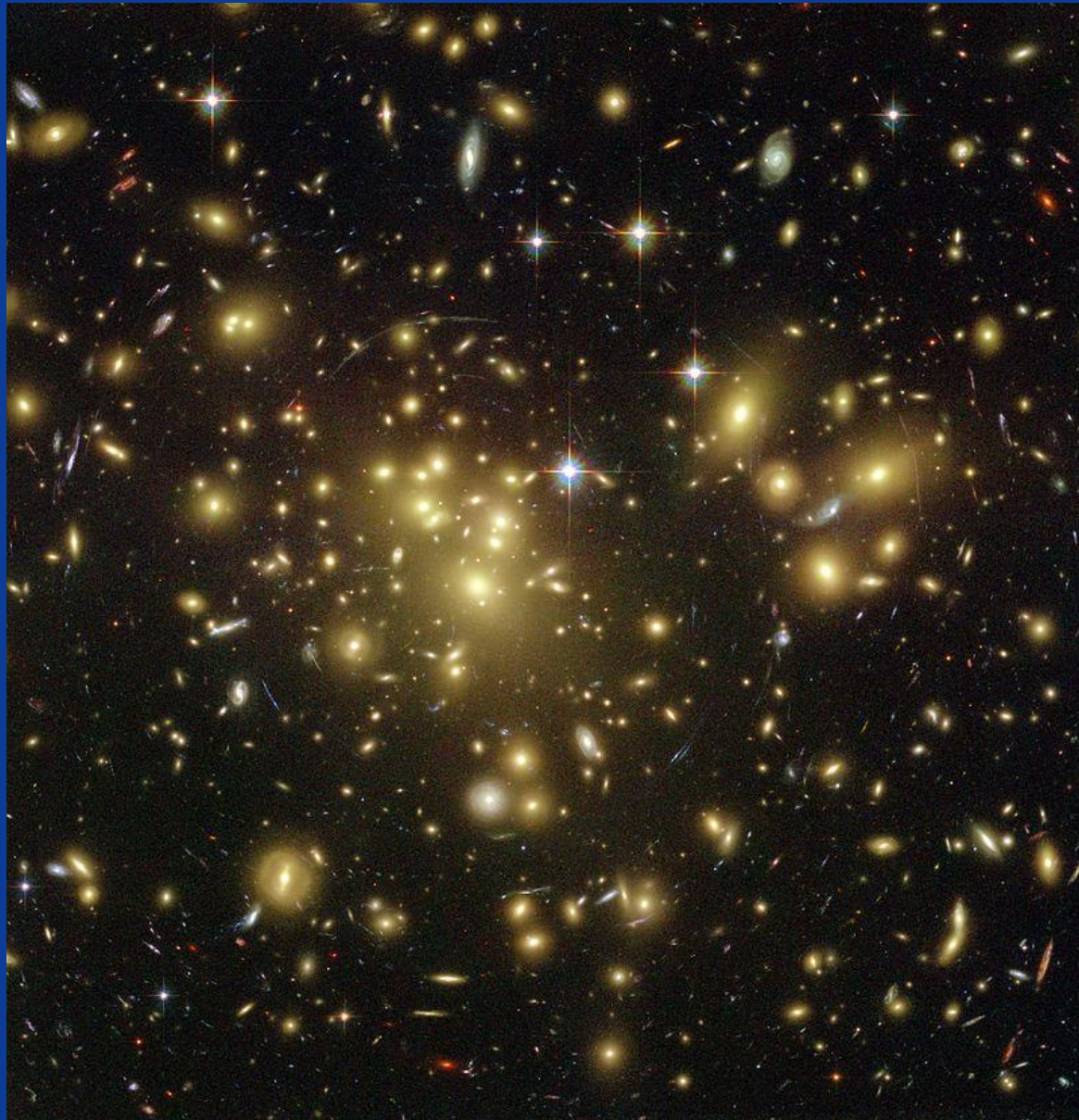


# Mitä seuraavaksi? (avoimia kysymyksiä)



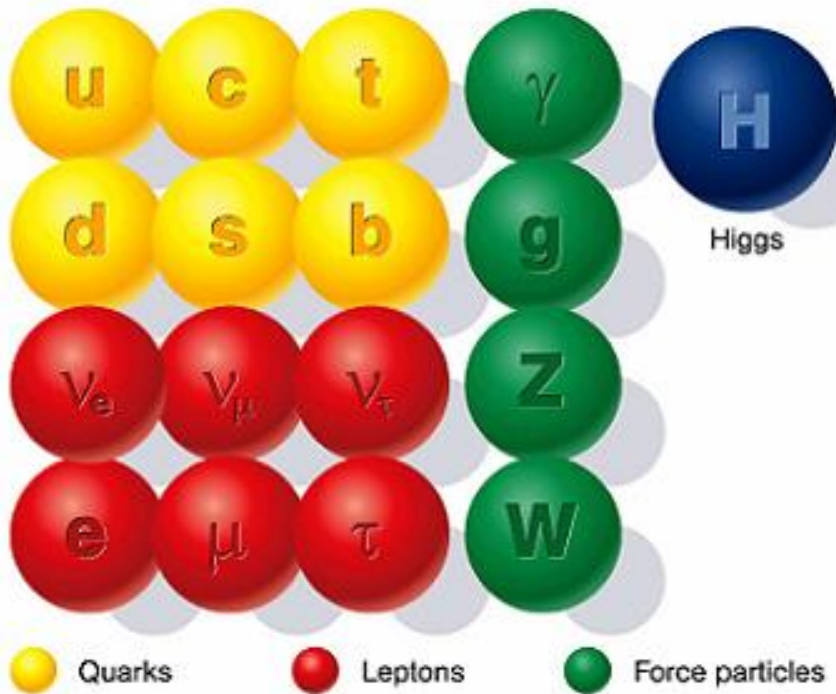


# Pimeä aine?

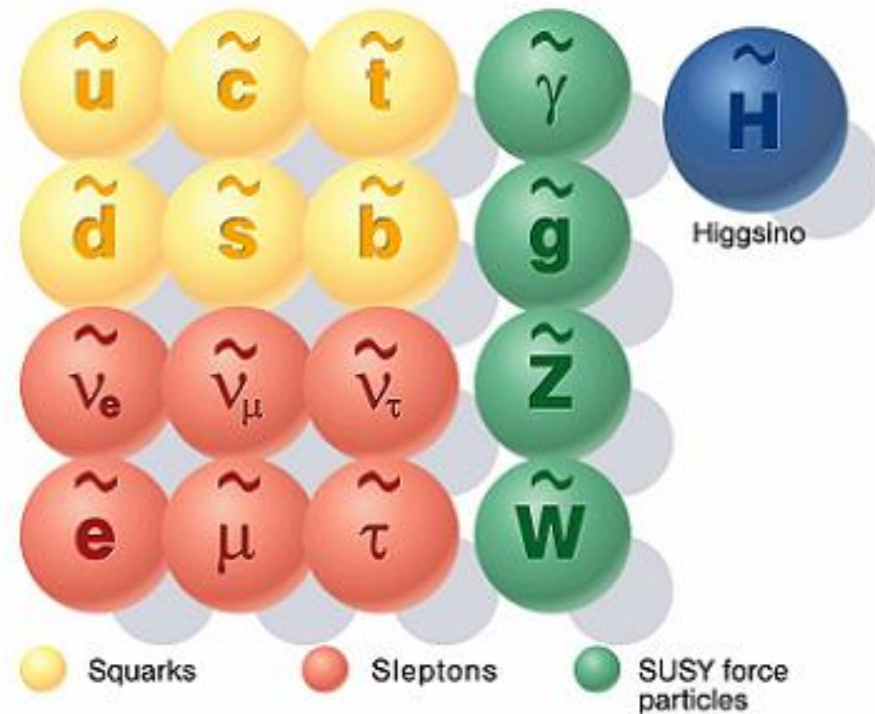


# Supersymmetria (SUSY)?

## Standard particles



## SUSY particles

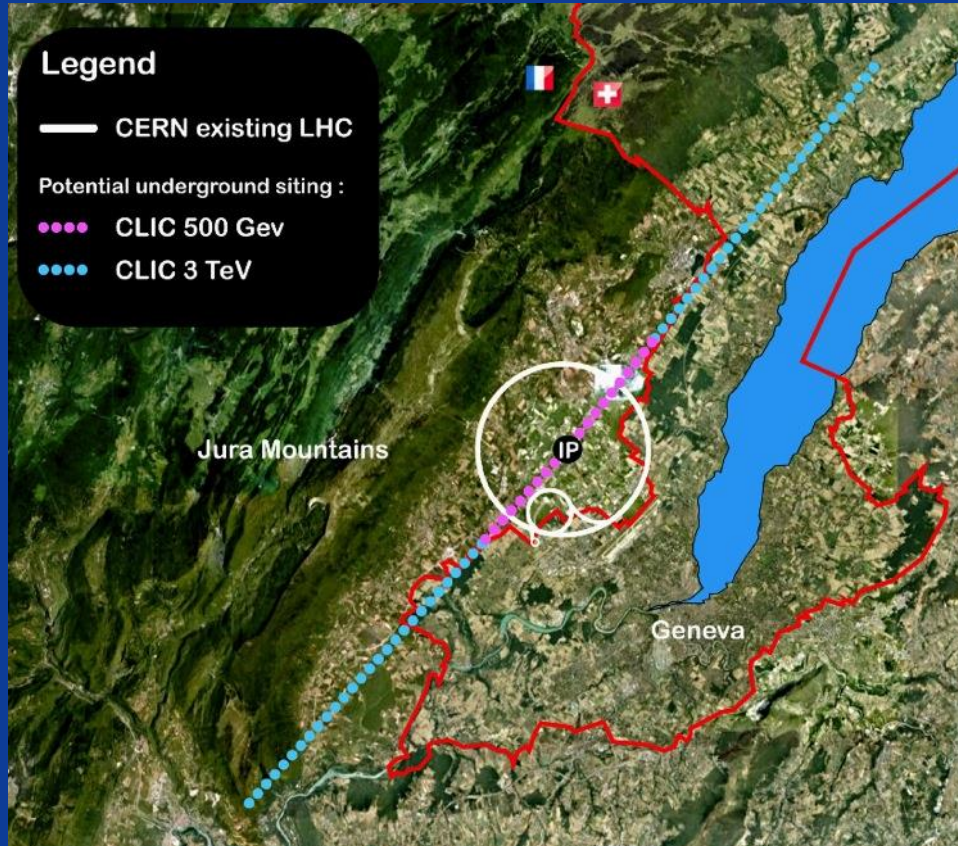


Credit: DESY at Hamburg

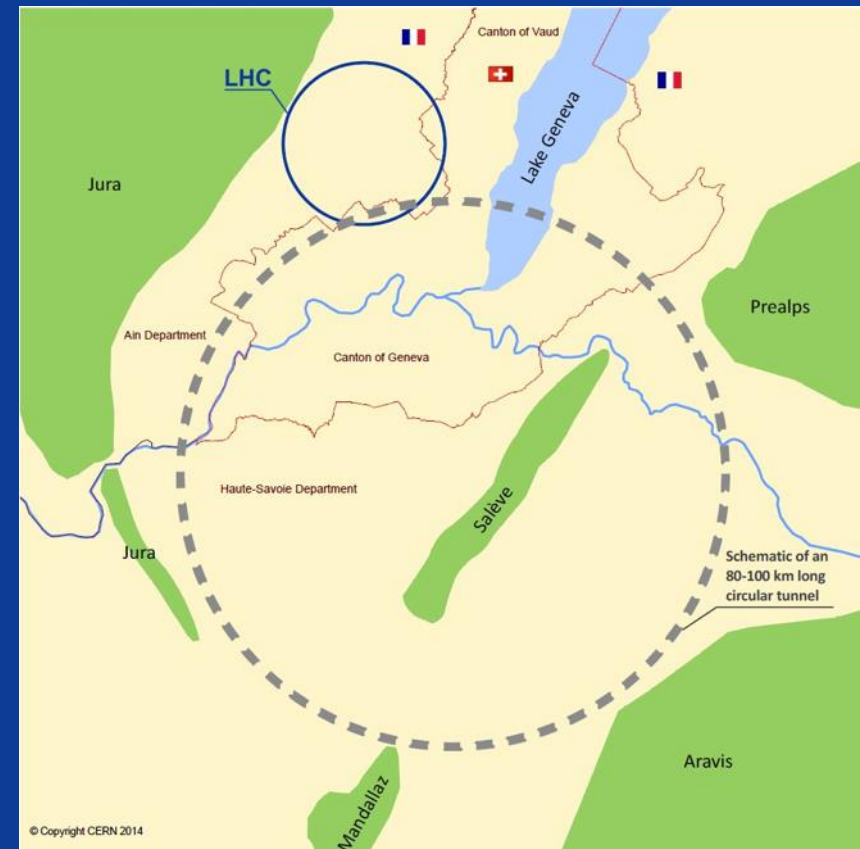


# CERNin tulevaisuus? – Think Big!

## Compact Linear Collider (CLIC)

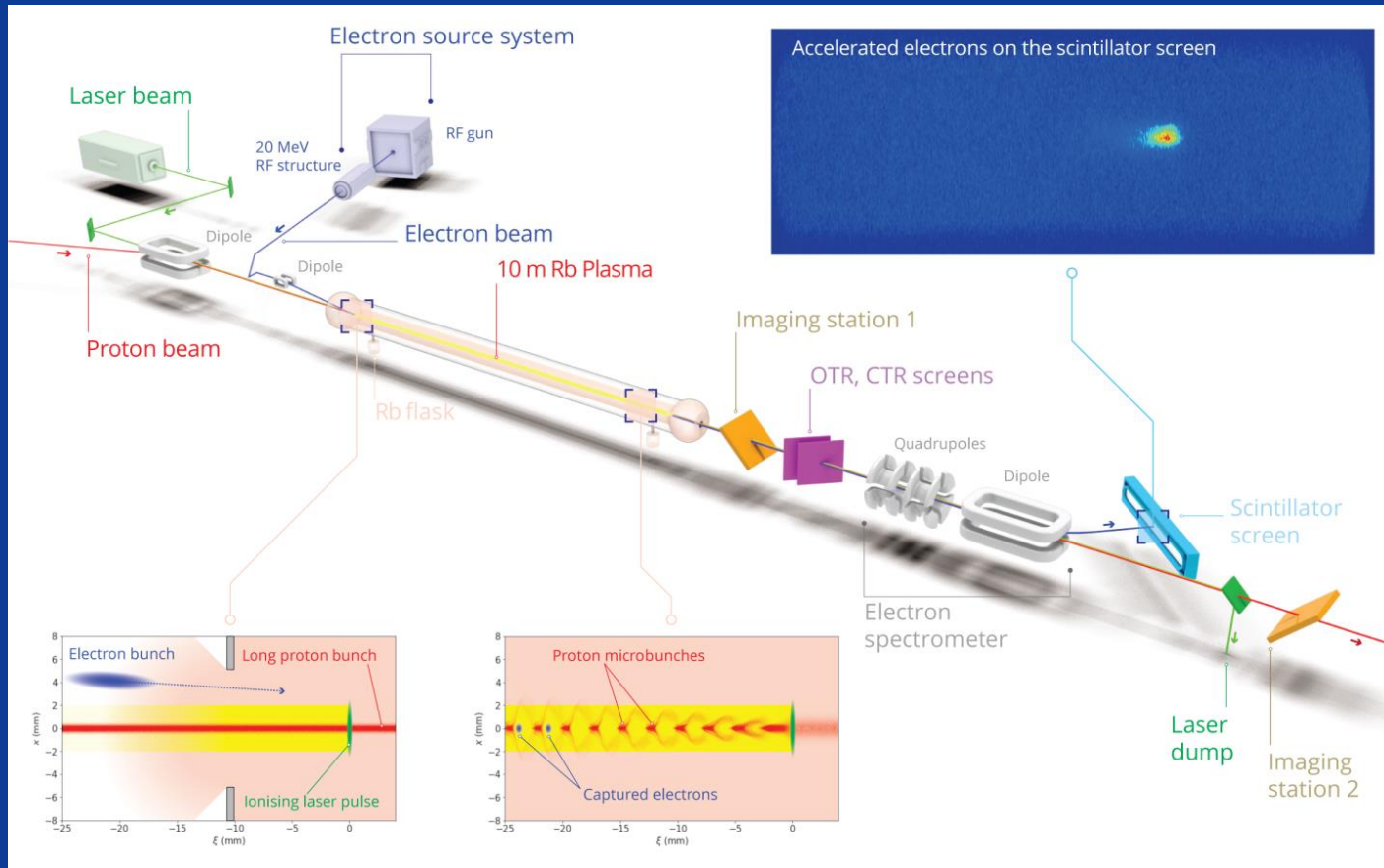


## Future Circular Collider (FCC)



# CERNin tulevaisuus? – Tarvitaanko todella noin isoja kiihdyttimiä?

Entä jos LHC saataisiin toteutettua alle sadan metrin matkalla?



Advanced Proton Driven Plasma Wakefield Acceleration Experiment – AWAKE

Onko joku vielä hereillä?

Jos on, niin kiitos  
tarkkaavaisuudesta!