Tervetuloa
Helsingin suomalainen yhteiskoulu, Hyvinkään yhteiskoulun lukio, Järvenpään lukio
23.10.2019

Yleisesittely: Mikä CERN on ja mitä täällä tehdään?

Timo Hakulinen

BE/ICS

Lyhyt Intro: mistä on kysymys

Paikka, jossa paiskataan tavaraa vastakkain ja katsotaan mitä tapahtuu!

Ja miten se tehdään oikeasti?

Maailman **nopein** “kilparata” – **L**arge **H**adron **C**ollider (LHC)

Maailman **nopein** “kilparata” – **L**arge **H**adron **C**ollider (LHC)

Maailman **nopein** “kilparata” – **L**arge **H**adron **C**ollider (LHC)

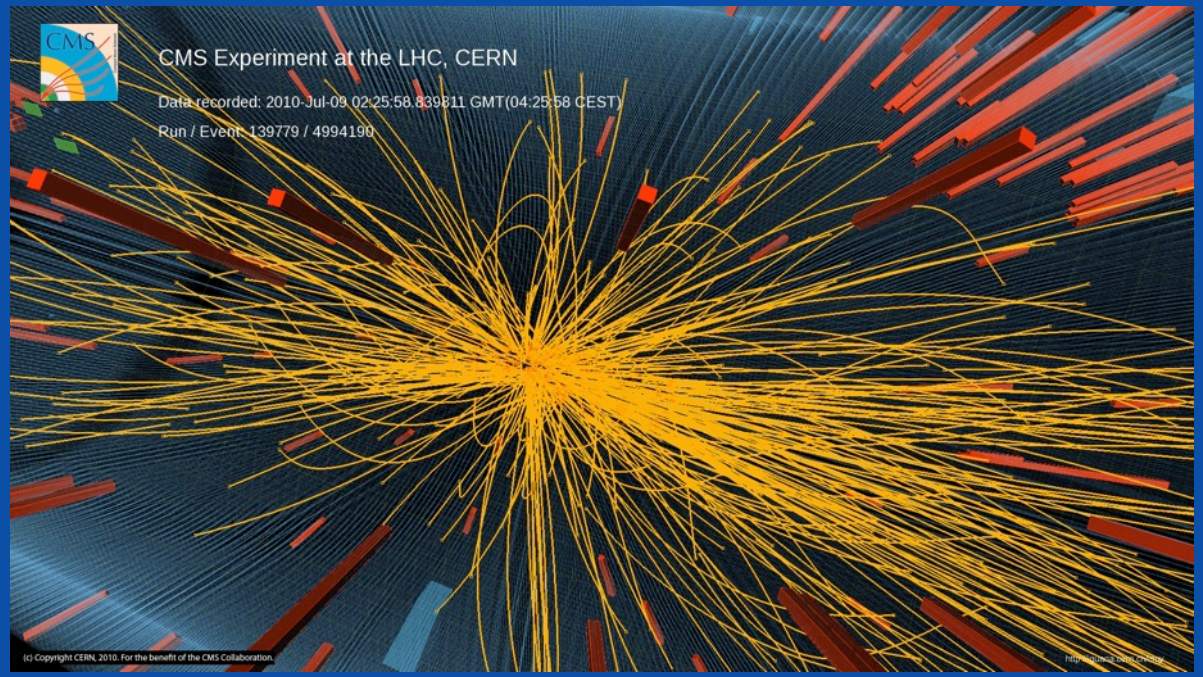
Yli 600 biljoonaa protonia, jotka kulkevat nopeudella 99,9999991% valon nopeudesta, kiertää 27km:n mittaisen LHC renkaan ympäri yli 11000 kertaa sekunnissa!

LHCb
ATLAS
CERN Meyrin
CERN Prévessin
SPS 7 km
SUISSE
FRANCE
CMS
ALICE
LHC 27 km

Yksi maailmankaikkeuden **kylmimmistä** paikoista!

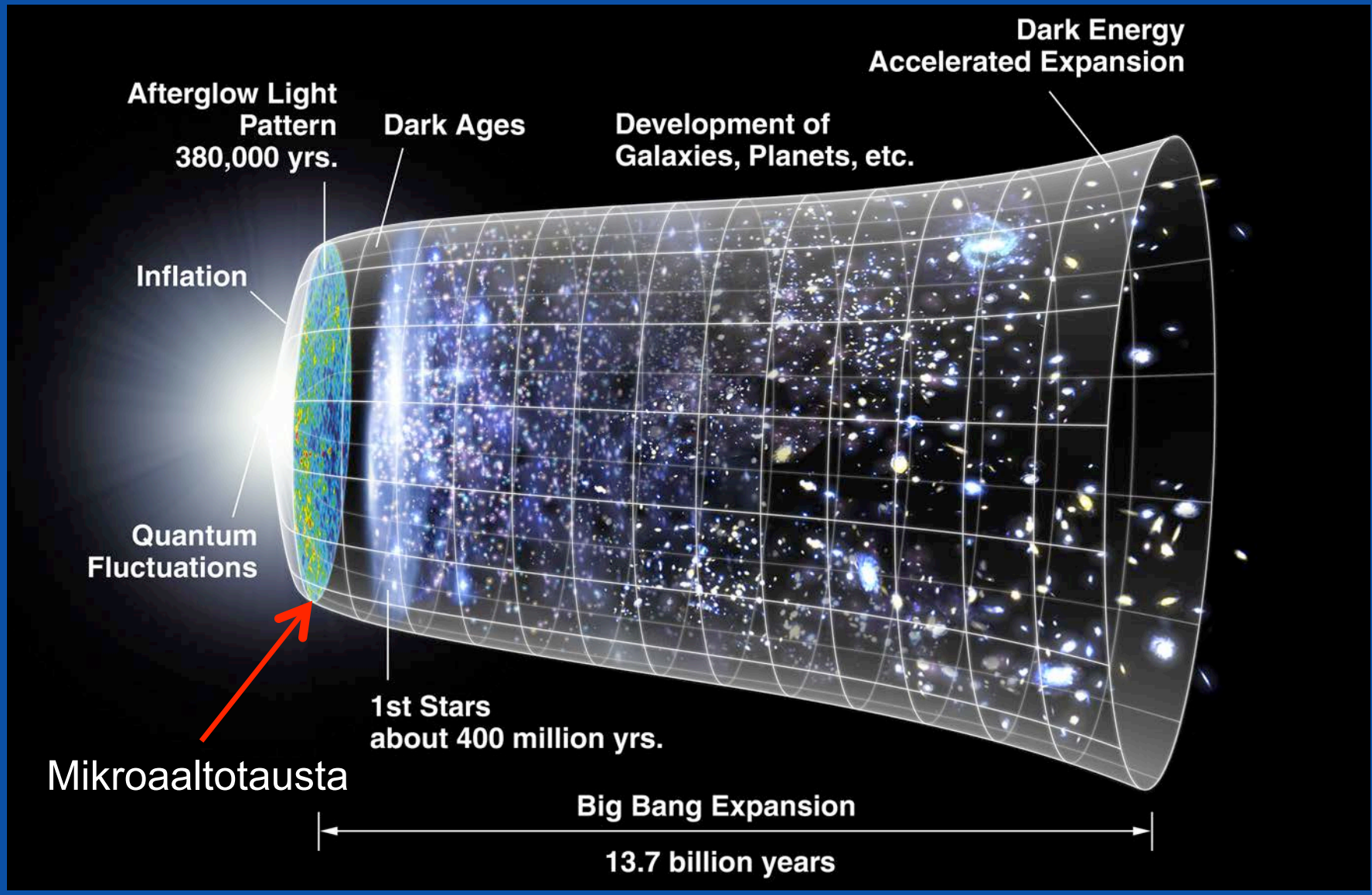
Lämpötila -271 Celsius-astetta, ts. 1,9 astetta absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, tekee LHC:n kryostaatista kylmemmän kuin ulkoavaruus.

Yksi maailmankaikkeuden **kuumimmista** paikoista!!

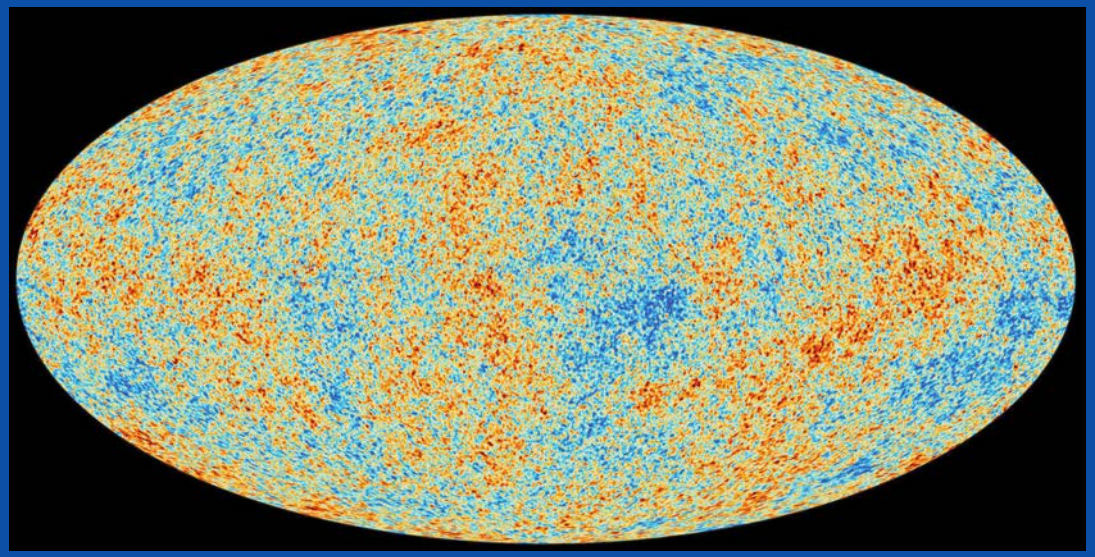


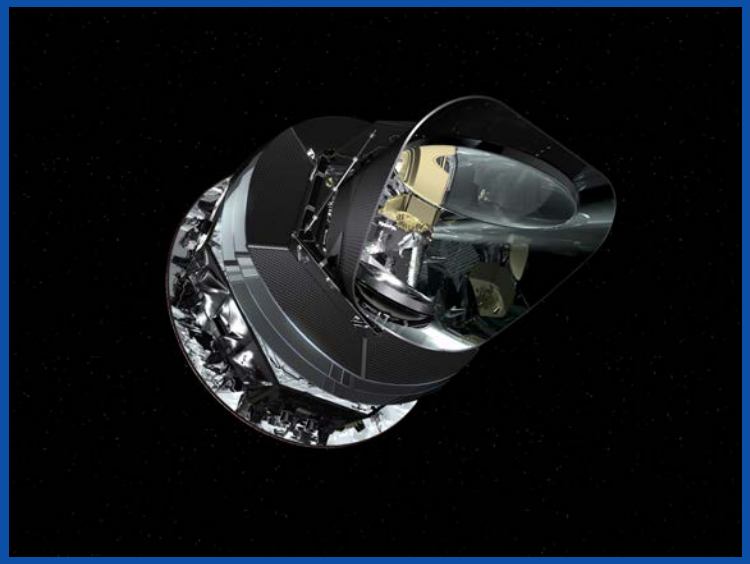
Kahden korkeaenergisen protonisuihkun törmäys luo äärimmäisen pieneen tilavuuteen ja hyvin lyhyeksi aikaa lämpötiloja, jotka ovat yli miljardi kertaa korkeampia kuin auringon ytimen lämpötila.

Tutkimuskohde: Big Bang



Mikroaaltotausta – Planck tutkimussatelliitti





Mikroaaltosäteilyn jakauma yli koko taivaankannen: paljastaa aineen aineen jakauman alkuräjähdyksen jälkeisessä universumissa.
Fysiikan Nobel-palkinnot 1978 (mikroaaltotaustan löytäminen) ja 2019 (ilmiön selitys).

Näkymä maailmankaikkeuteen

Atacama Large
Millimeter Array

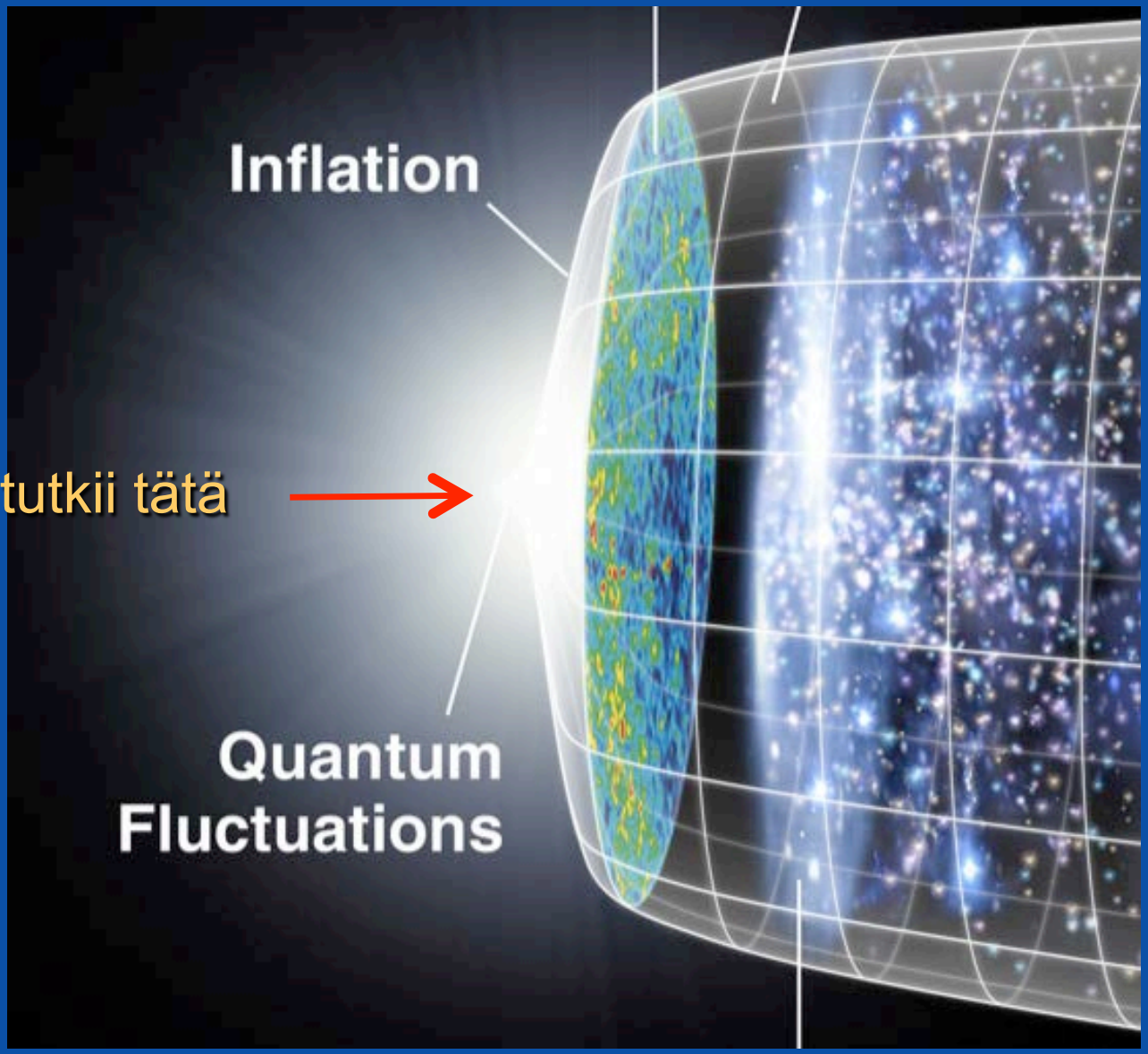
Näkymä maailmankaikkeuteen

Mauna Kea Observatory

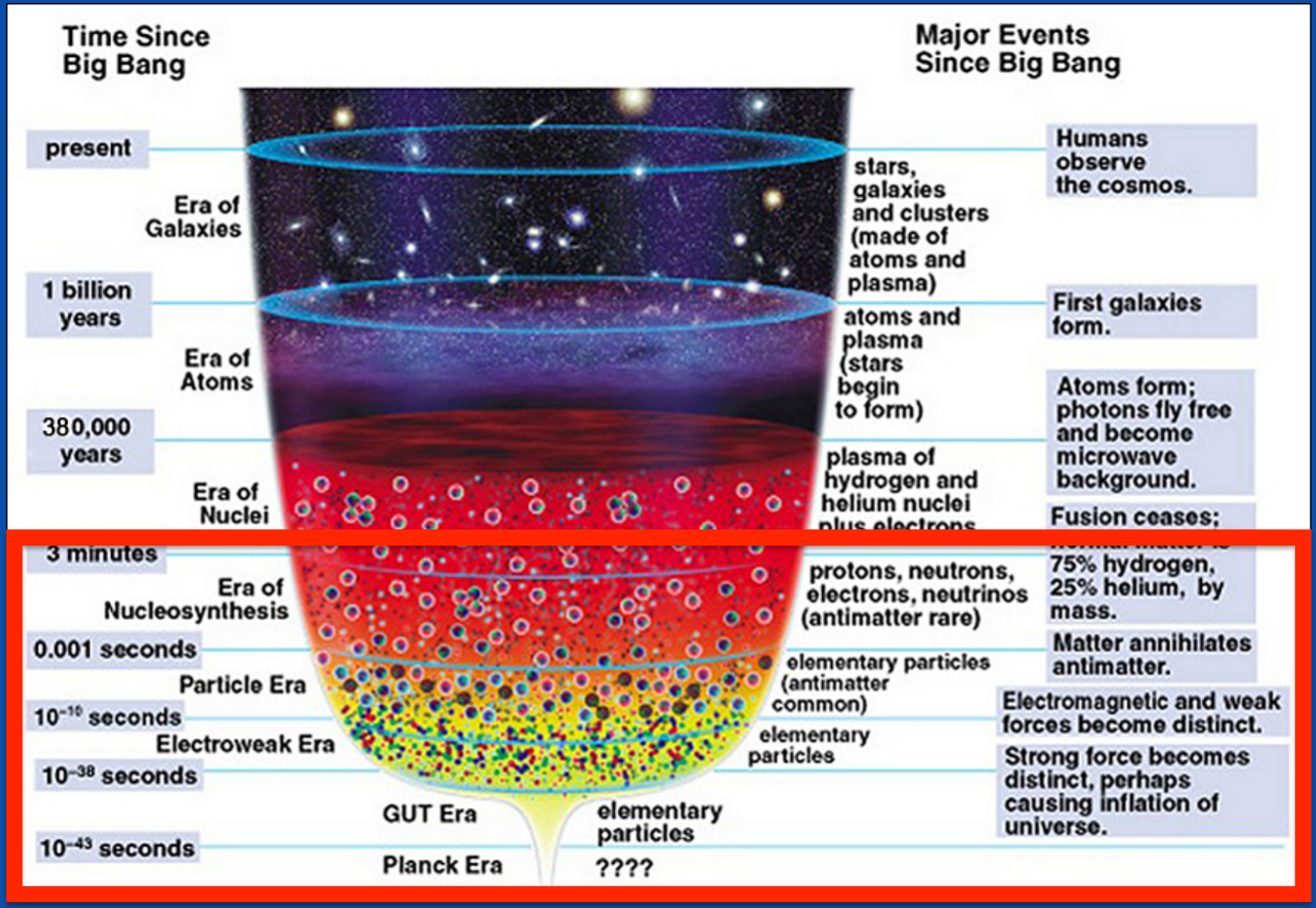
Näkymä maailmankaikkeuteen

Hubble Space Telescope

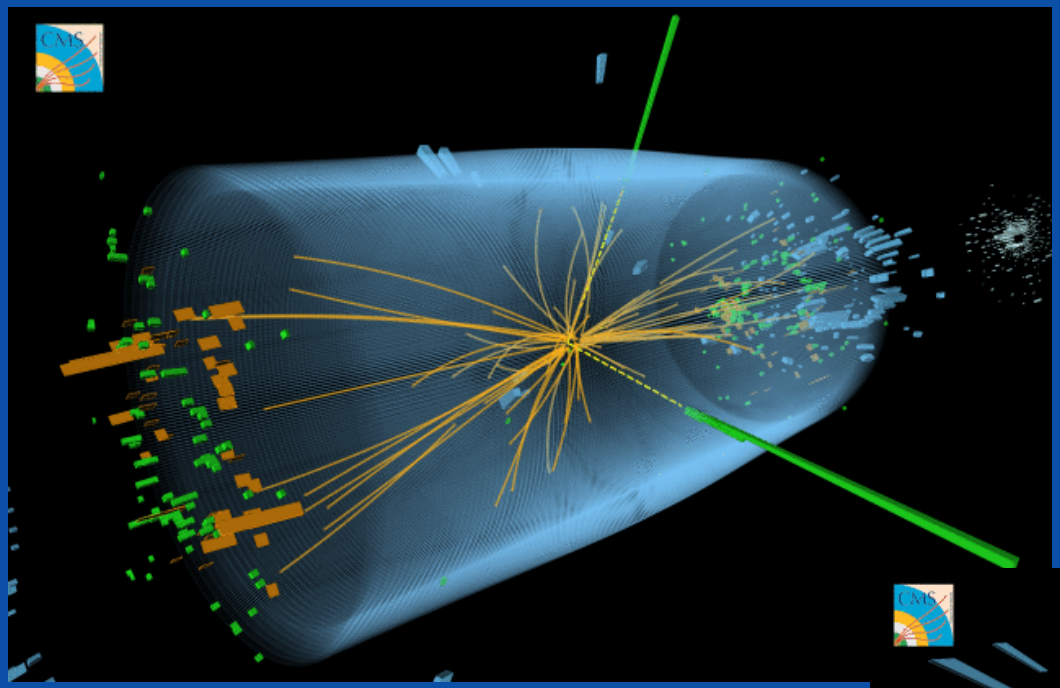
Näkymä alkuhetkeen: Big Bang

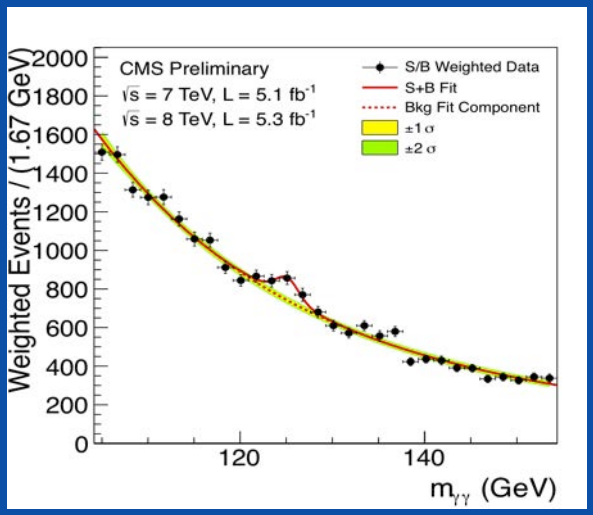


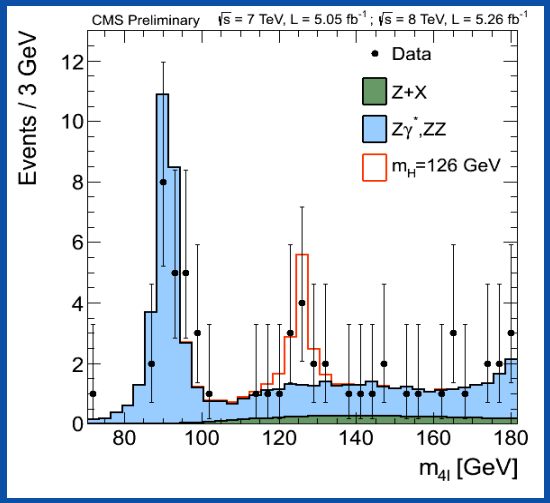
Big Bang: CERN:in aikaikkuna

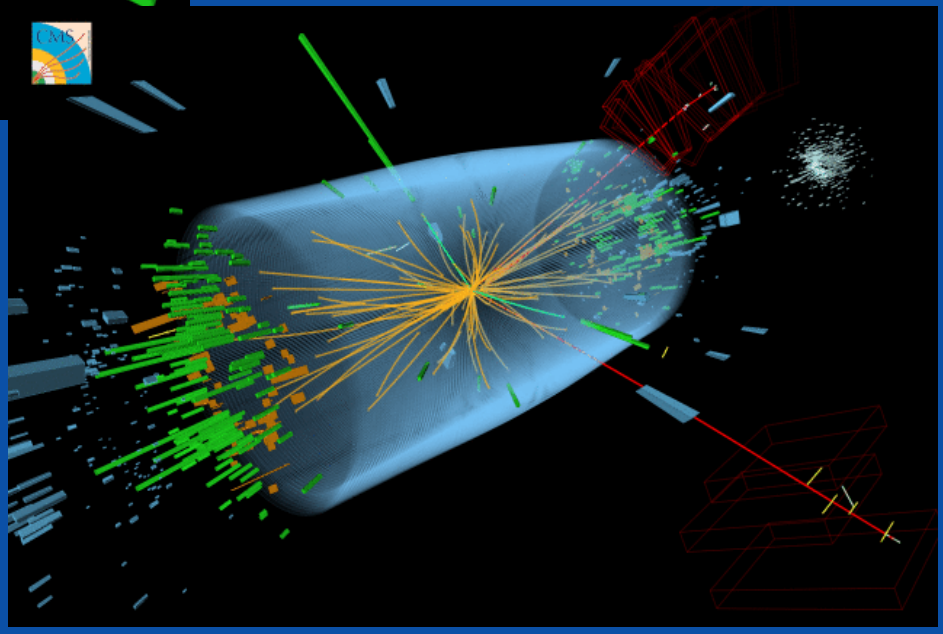


Tutkimuskohde: Higgs:in bosoni

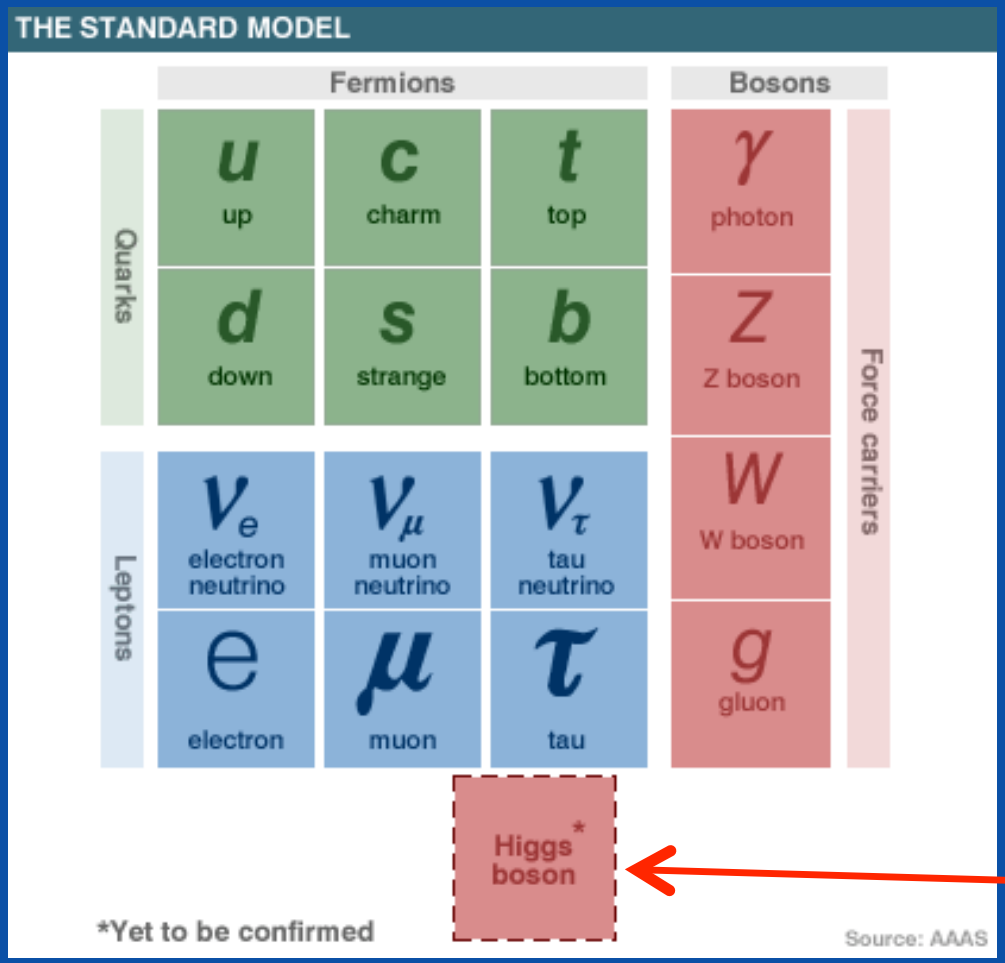








Todistettava: Standardimalli



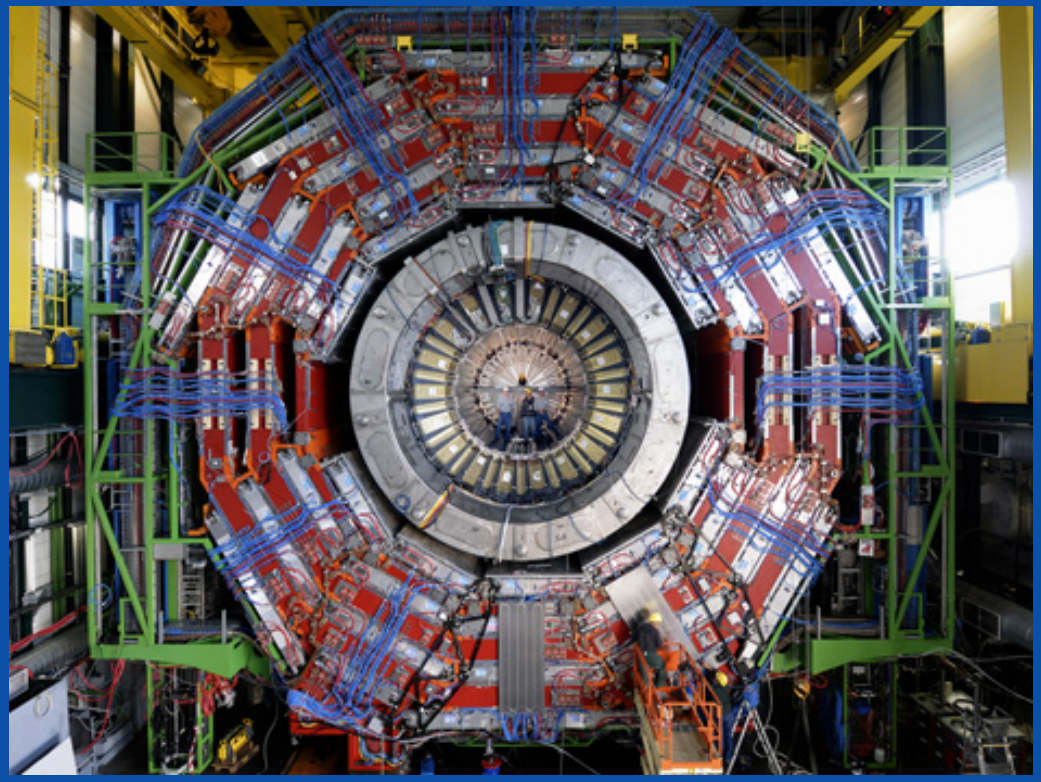
- Maailmankaikkeuden rakennetta kuvaava teoria
- Standardimalli = sähköheikkoteoria + kvanttiväridynamiikka (QCD)
- Muut standardimallin alkeishiukkaset löydetty jo aiemmin, mutta massan selittävä Higgs:in bosoni antoi odottaa itseään vuoteen 2012

Löydetty 2012 CERNissä!

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".

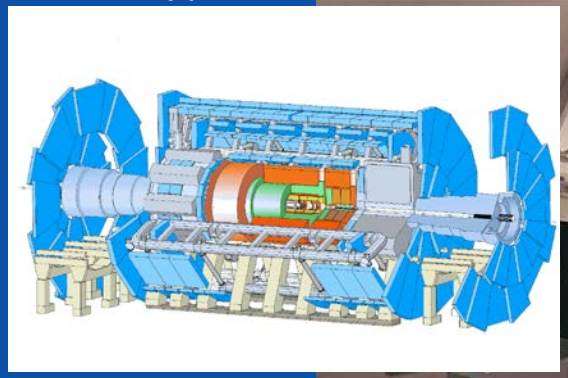
CERNin tutkimus tehdään kaikkien aikojen **kookkaimmilla ja monimutkaisimmilla ilmaisimilla**



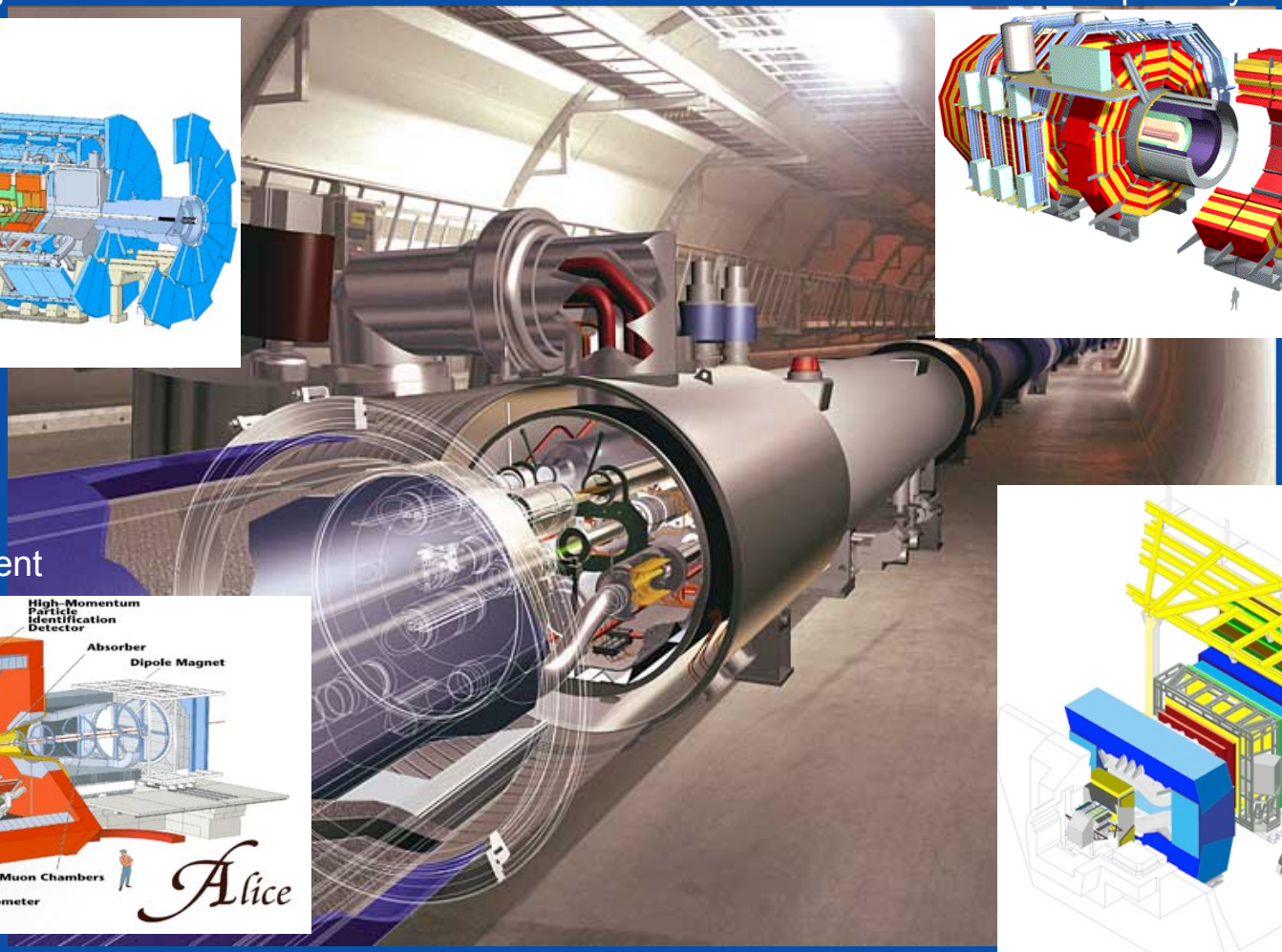
Havaitakseen ja tallentaakseen signaaleja 600 miljoonasta protonitörmäyksestä sekunnissa, CERNin tutkijat rakentavat valtavia ilmaisia, jotka kykenevät mittaamaan minimaalisen pieniä hiukkasia suurenmoisella tarkkuudella.

Neljä suurta LHC-koetta

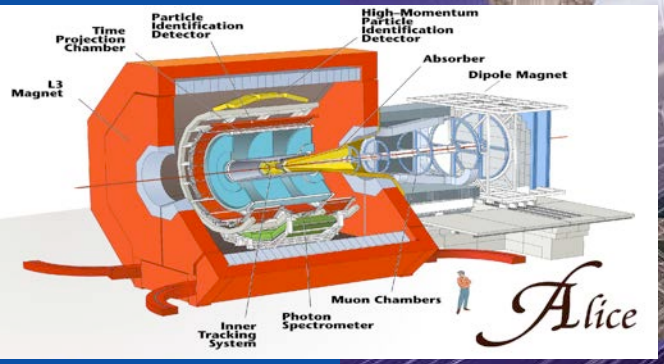
ATLAS
A Toroidal
LHC Apparatus



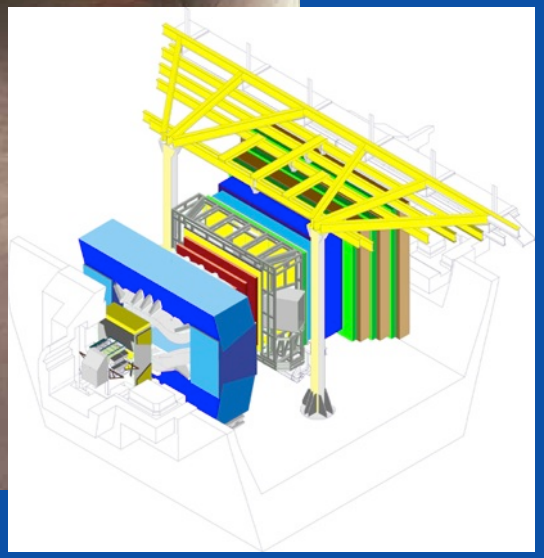
CMS
Compact Myon Solenoid



ALICE
A Large Ion
Collider Experiment

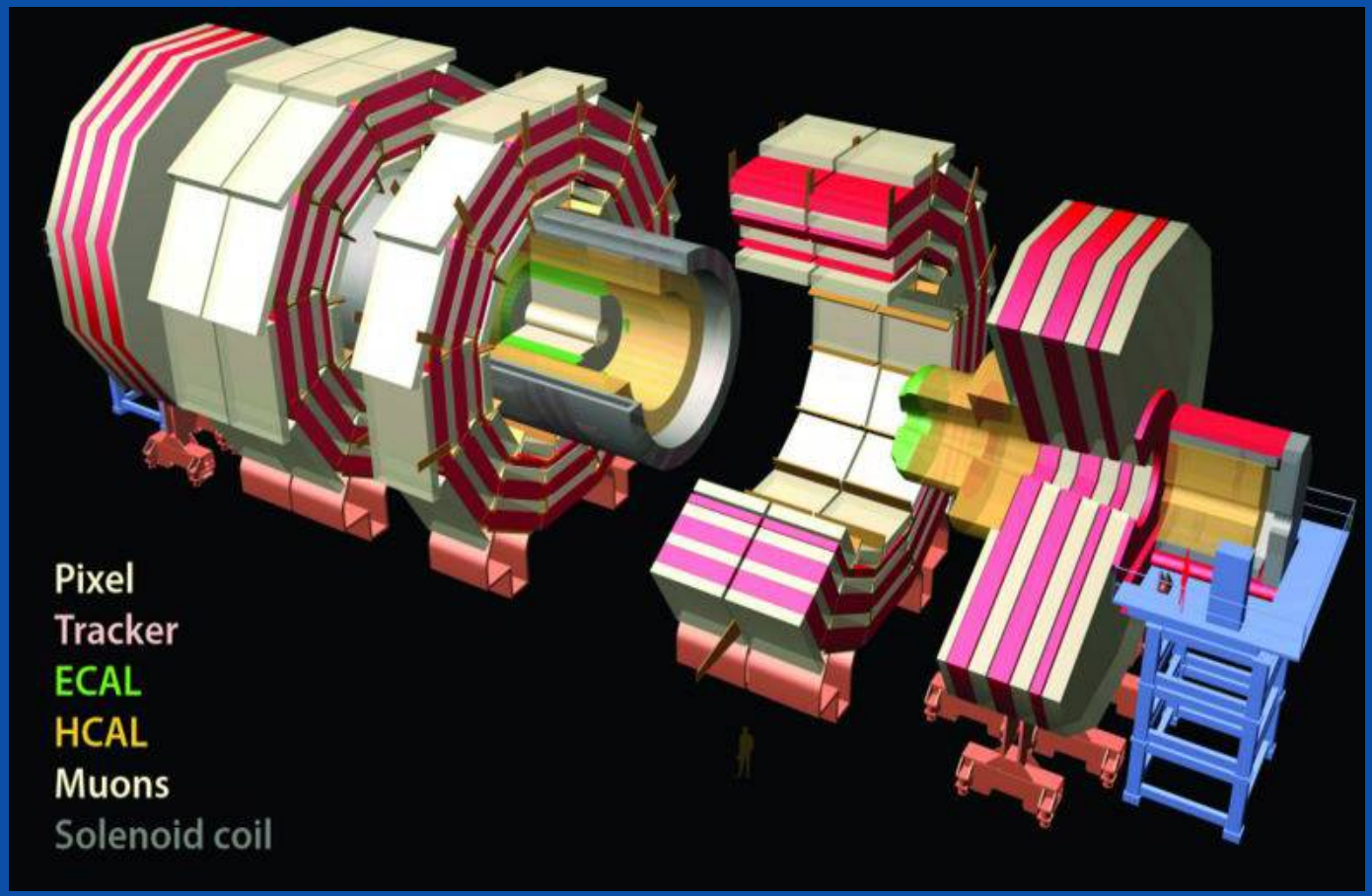


LHCb

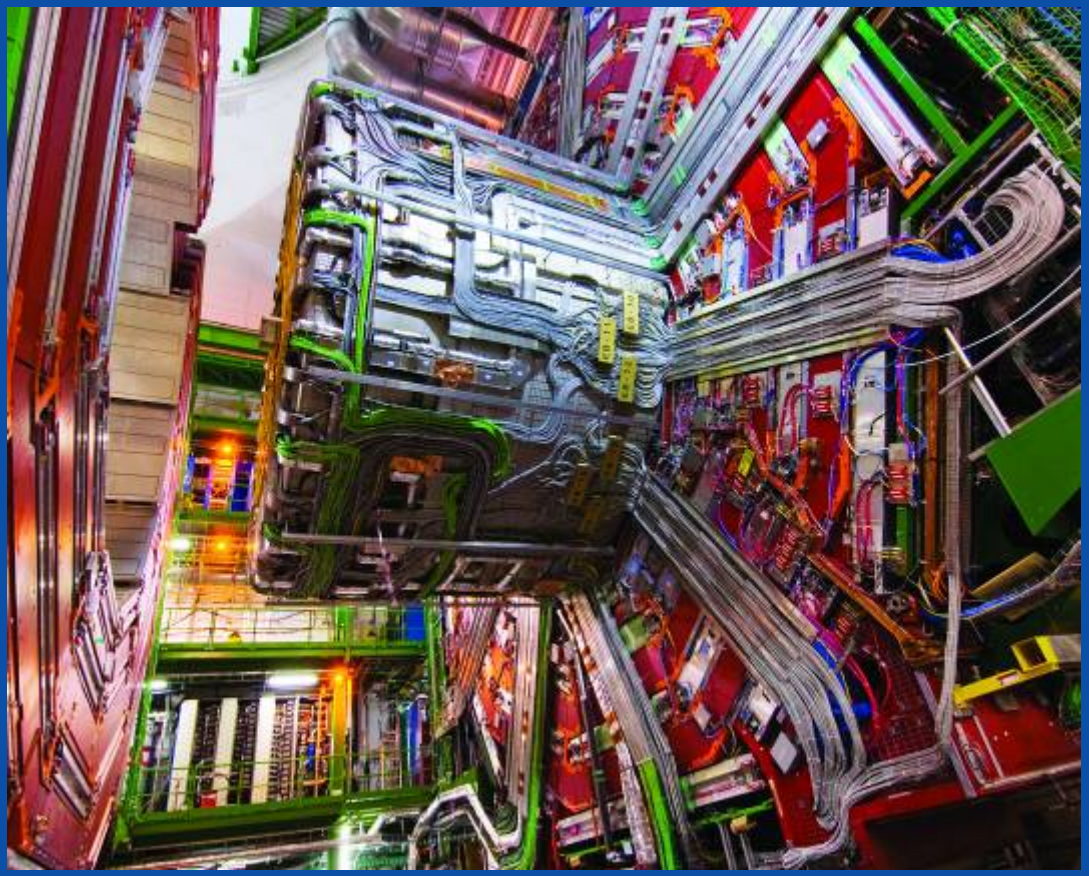


Esimerkki: CMS ilmaisin

- Suunnittelu ja rakentaminen vaati n. 2000 tutkijalta ja insinööriltä 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

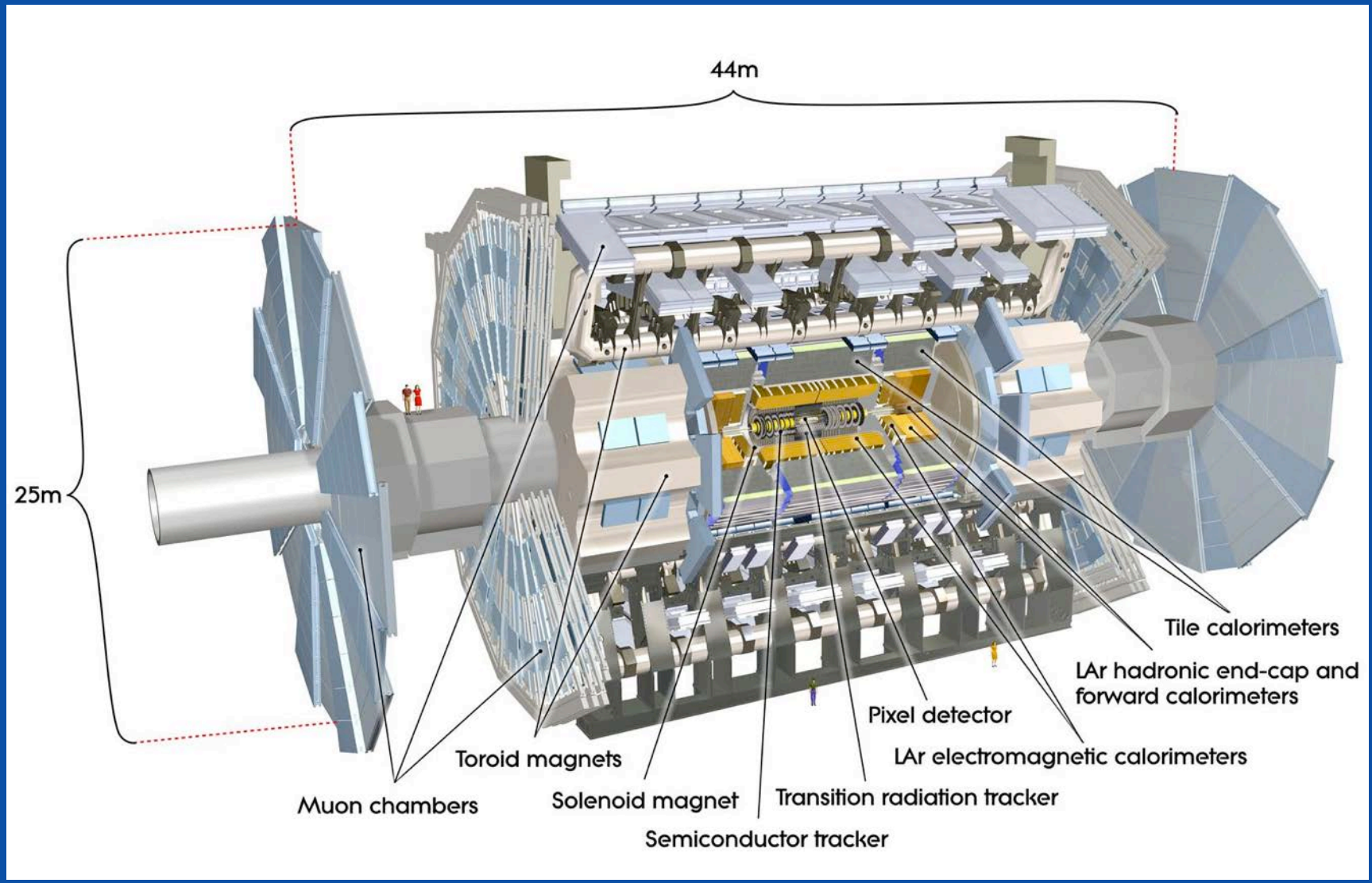


…rakennettu hämmästyttävällä **tarkkuudella…**



- CMS-ilmaisin 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 (2019)

- Budjetti: 1146 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:
  - Intia, Kroatia, Kypros, Liettua, Pakistan, Slovenia, Turkki, Ukraina
- Tarkkailijat:
  - Euroopan Unioni, Japani, JINR, UNESCO, Venäjä, Yhdysvallat

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, materiaalifysiikkaa, ja kehitetään sovellutuksia esim. lääketieteeseen
- Osallistuu oman fyysikkoryhmän avulla hiukkasfysiikan kokeisiin. CERNin tutkimusfyysikoita on alle sata kokonaishenkilökunnasta (tot. 2500).

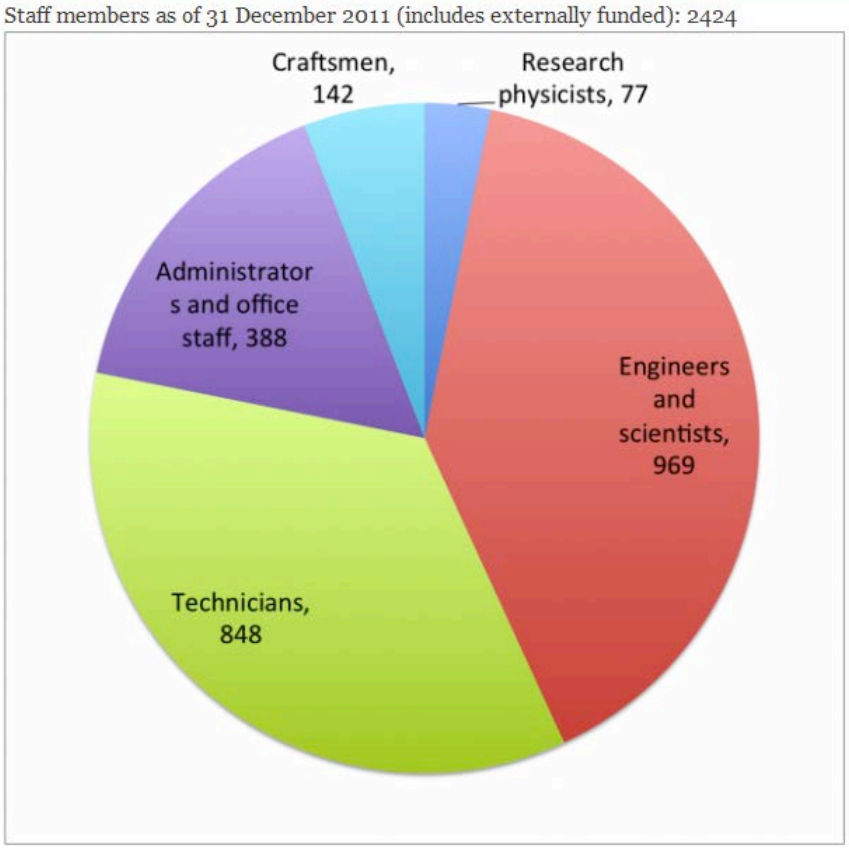
Tutkimustyö CERNissä

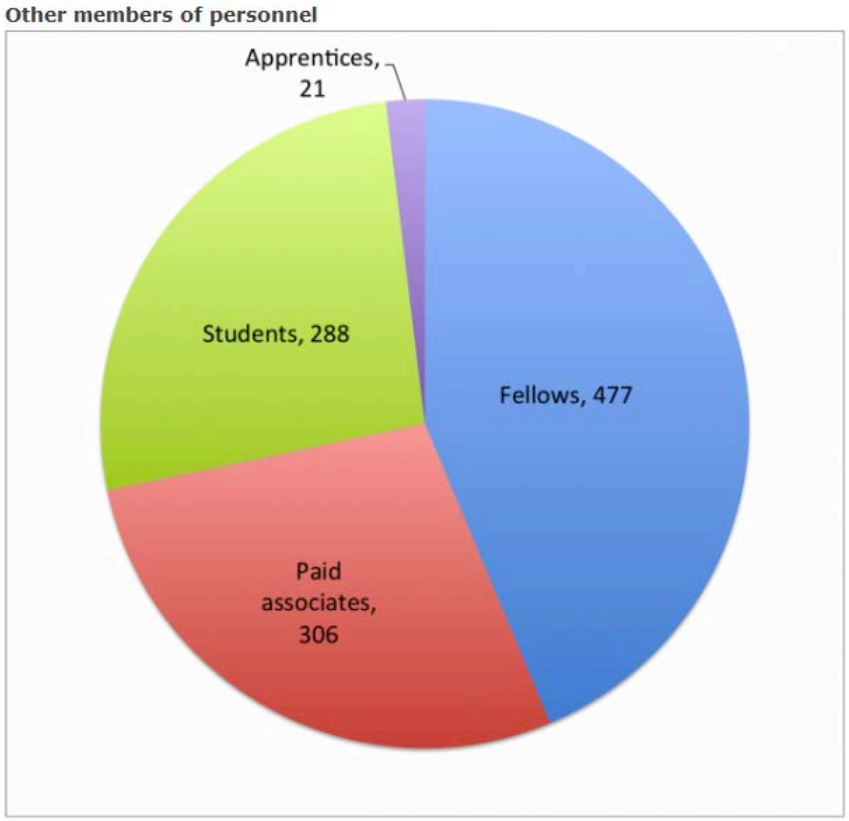
- Suuret koelaitteistot kiihdyttimien yhteyteen rakennetaan yliopistojen ja tutkimuslaitosten toimesta, yhteisellä rahoituksella (vastuut ja rahoitus sovitaan Memorandum of Understanding asiakirjoilla)
- Noin 10000 tutkijaa tekee tutkimustyötä CERNissä, oleskellen siellä viikosta vuosiin projektin tilanteen 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 yli **10000** **henkeä** tulee CERNiin töihin

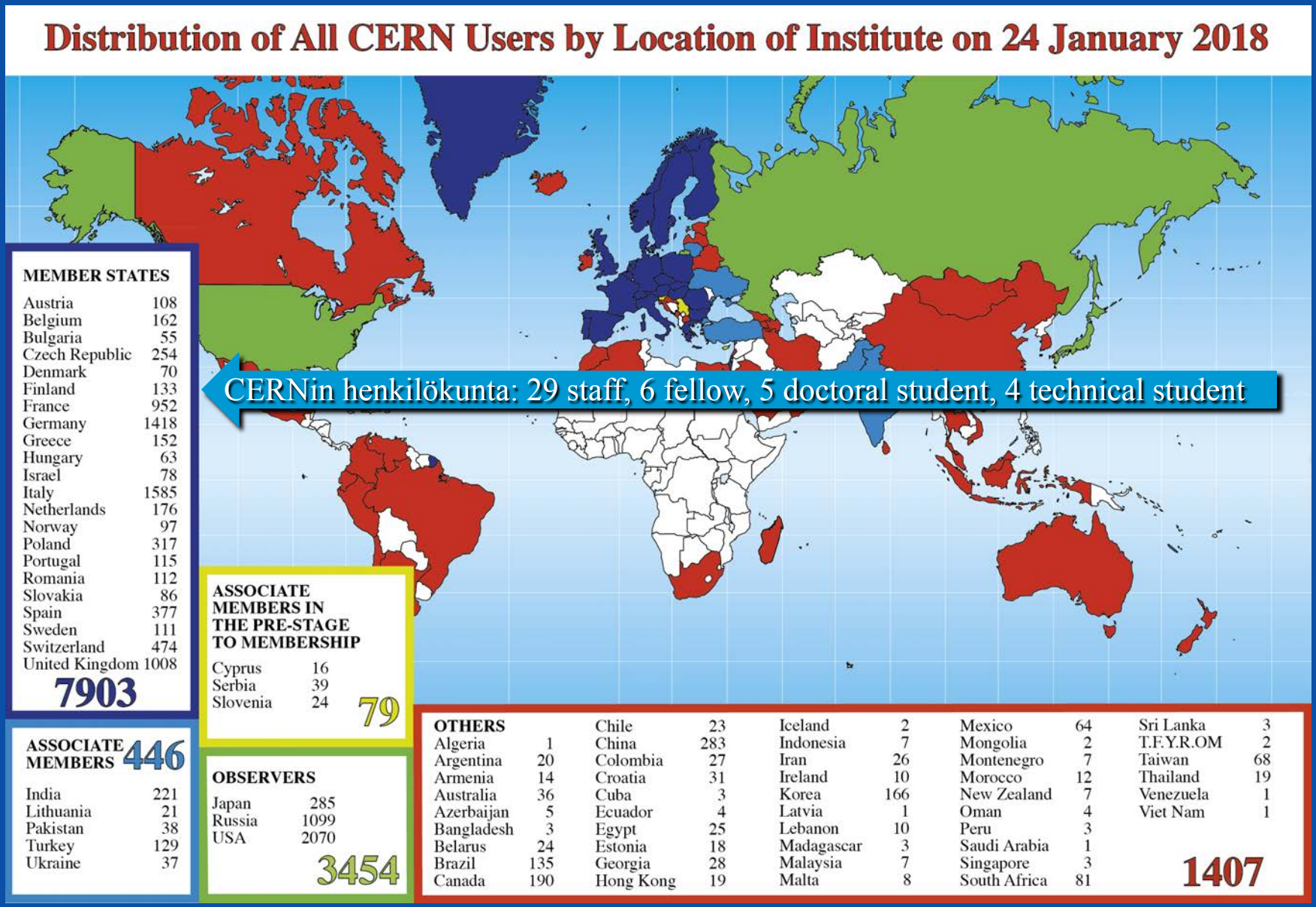
Joukossa fyysikkoja, insinöörejä, teknikkoja, asentajia, hallintohenkilökuntaa…

CERNin henkilökunta





CERNin **käyttäjät** tulevat kaikkialta maailmasta



CERNin lyhyt historia – idea

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

CERNin lyhyt historia – perustaminen

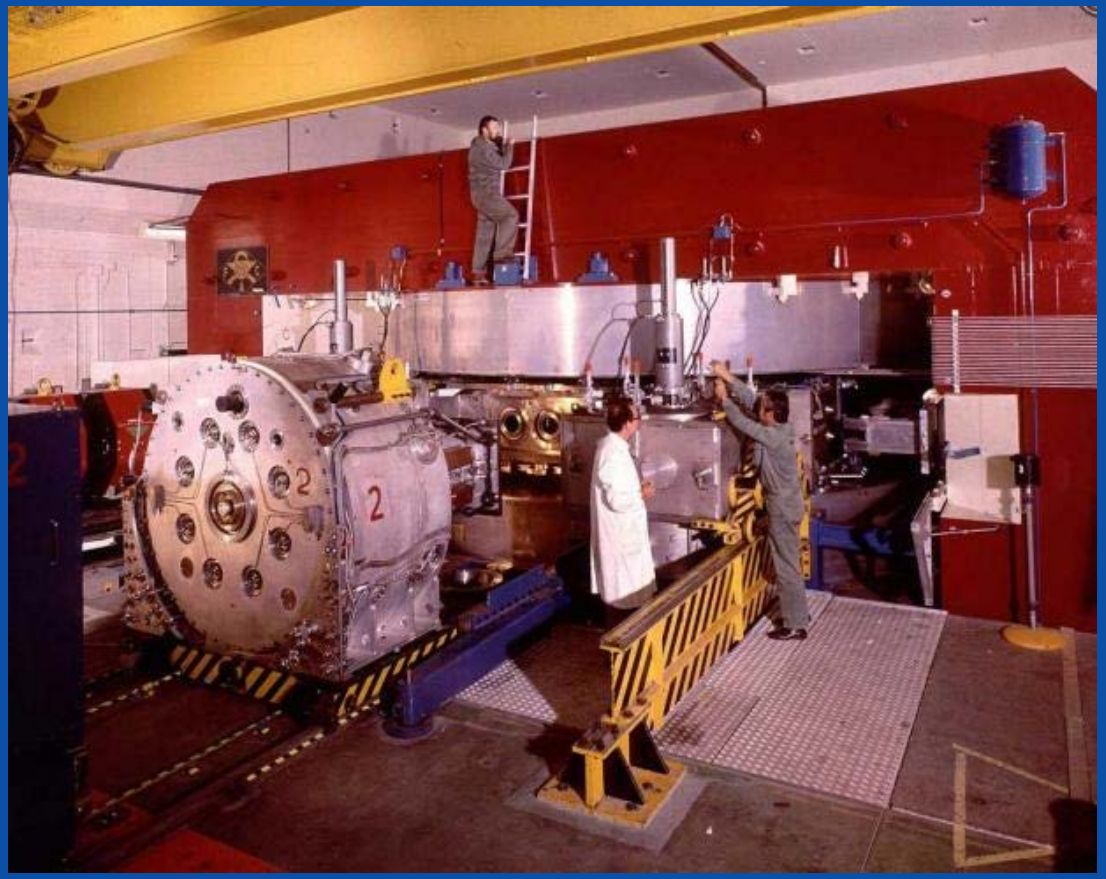
- 1950-1951: Diplomaattista taustatyötä – Isidor Rabi, Pierre Auger, François de Rose
- 1952-1953: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire – CERN, Geneve valitaan CERNin sijantipaikaksi

CERNin lyhyt historia – paikka ja aika

- 1954: Rakentaminen alkaa toukokuussa, peruskirjan ratifiointi 29.9.1954 – CERNin syntymäpäivä

CERNin lyhyt historia – laitteisto

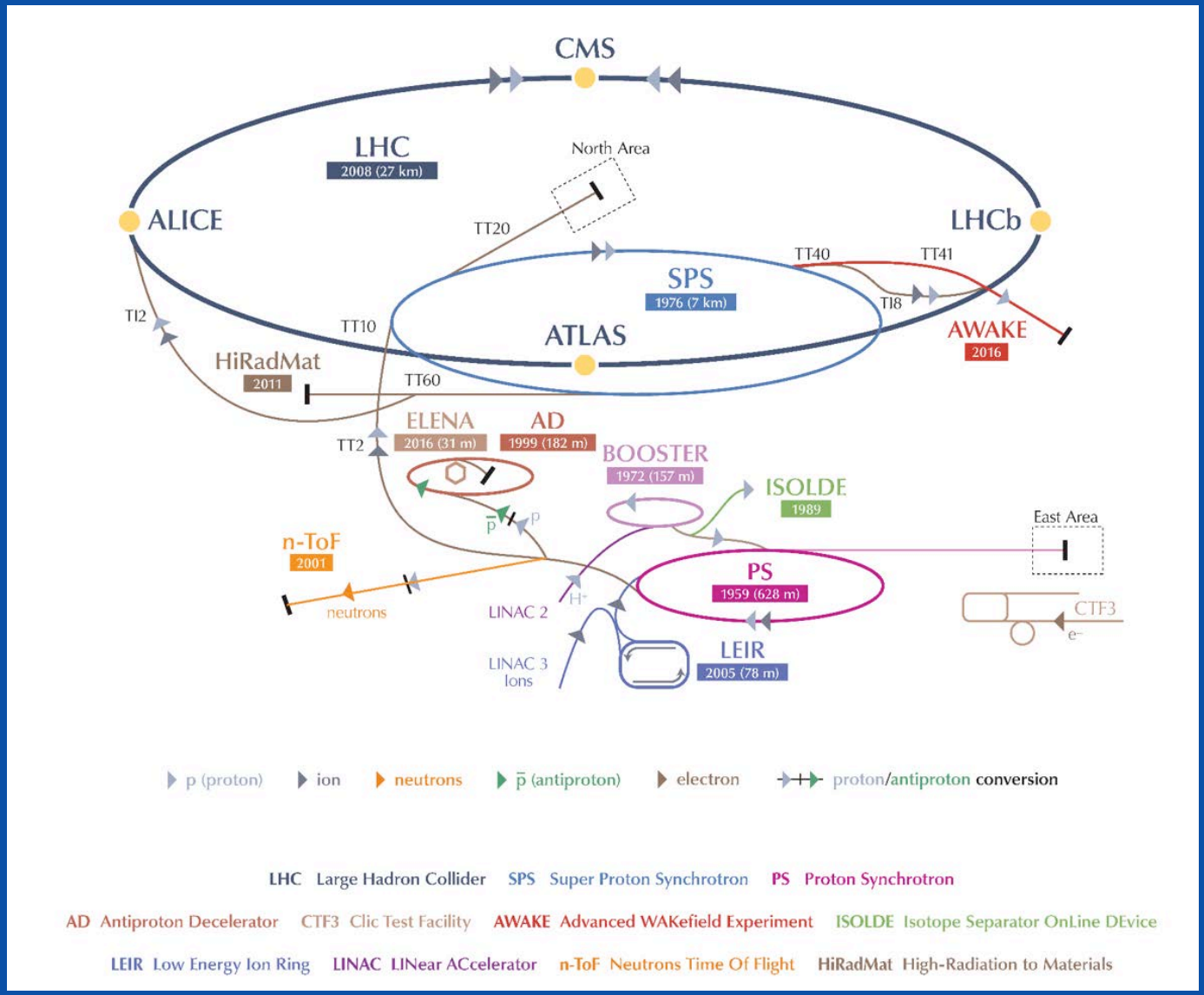
- 1957-1990: CERNin ensimmäinen hiukkaskiihdytin – Synchrocyclotron
- 1959-: Proton Synchrotron (PS)
- 1971-1984: ISR – ensimmäinen rengastörmäytin
- 1976-: SPS
- 1989-2000: LEP
- 2008-: LHC
- Tulevaisuus?: HL-LHC, CLIC, FCC, …



CERNin lyhyt historia – tärkeimpiä löytöjä ja saavutuksia

- ***1968: Monilankaverrannollisuuskammio*** – 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: Higgs:in-hiukkanen*** löydetään LHC:n CMS ja Atlas-kokeissa – Nobel 2013, Peter Higgs, François Englert

CERNin kiihdytinsuihkut ja kokeet



CERNin kiihdyttimet

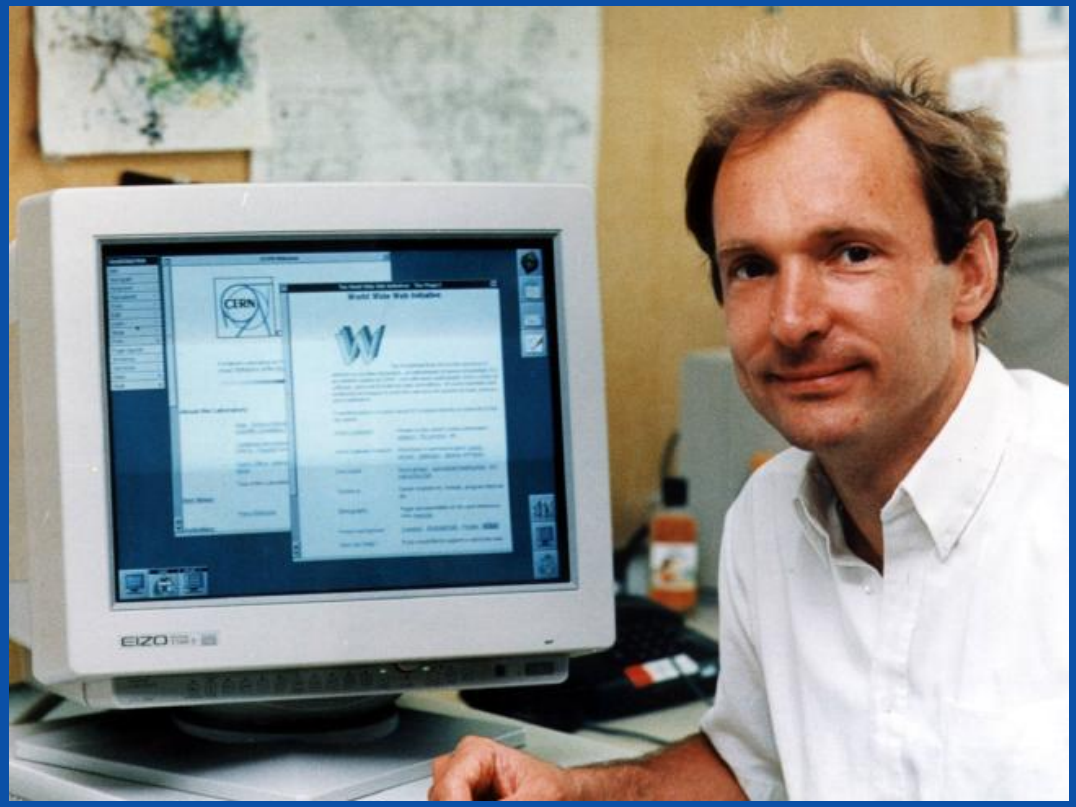
- LHC: 7+7 TeV Large Hadron Collider, ympärysmitta 27 km
- SPS: 450 GeV Super Proton Synchrotron, ympärysmitta 6.9 km
- PS: 28 GeV Proton Synchrotron
- LINAC-2, 3, 4: Injektorit suuremmille kiihdyttimille, joissa hiukkassuihkut synnytetään
- ISOLDE: Booster-ISOLDE isotooppiseparaattori
- AD: 100 MeV/c Antiproton Decelerator
- CTF3: 150 MeV CLIC Test-Facility, elektronisuihku

CERNin kokeet

- LHC, 7 aktiivista: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, MoEDAL, TOTEM
- SPS, 5 aktiivista: COMPASS, NA61/SHINE, NA62, NA63, OPERA, ICARUS
- PS, 5 aktiivista: CLOUD, DIRAC, n_TOF, 2 jotka eivät tarvitse suihkua: CAST, OSQAR
- AD, 6 aktiivista: ACE, AEgIS, ALPHA, ASACUSA, ATRAP, BASE
- ISOLDE: 68 aktiivista, 57 valmisteilla
- CTF3: R&D tulevaisuuden lineaarikiihdytintä varten
- AMS: Asennettu ISS:lle, kontrolli CERNistä

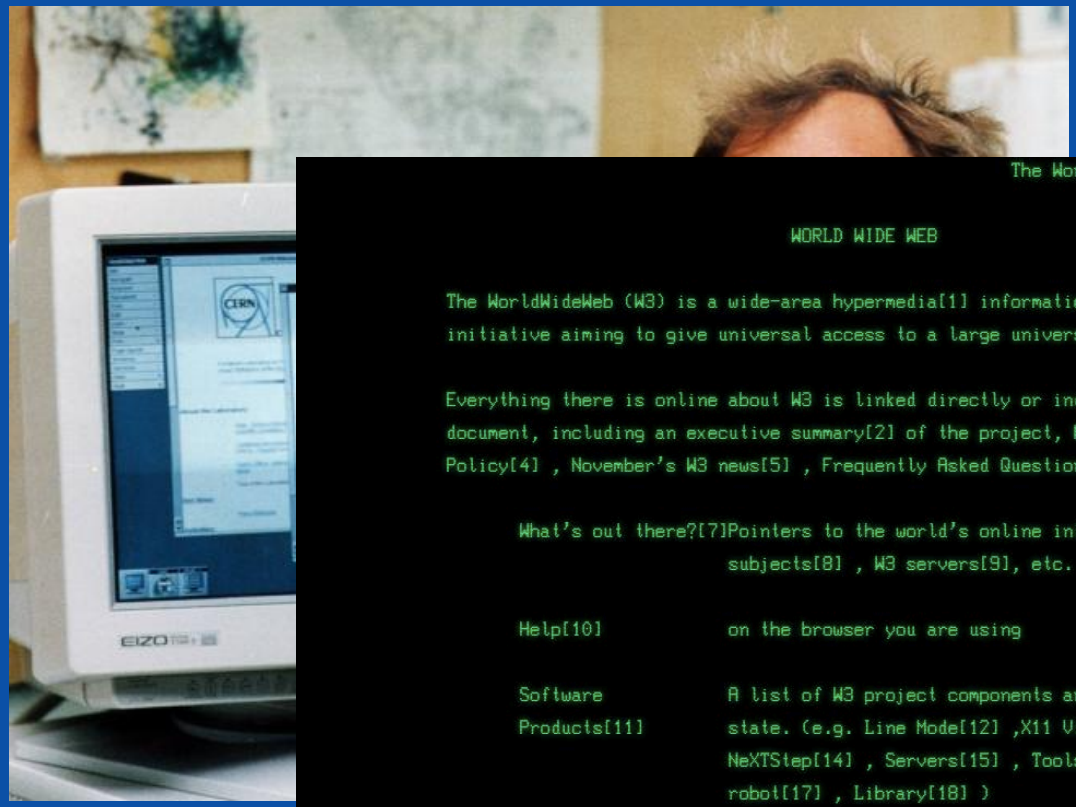
Alpha-Magnetic Spectrometer (AMS)

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

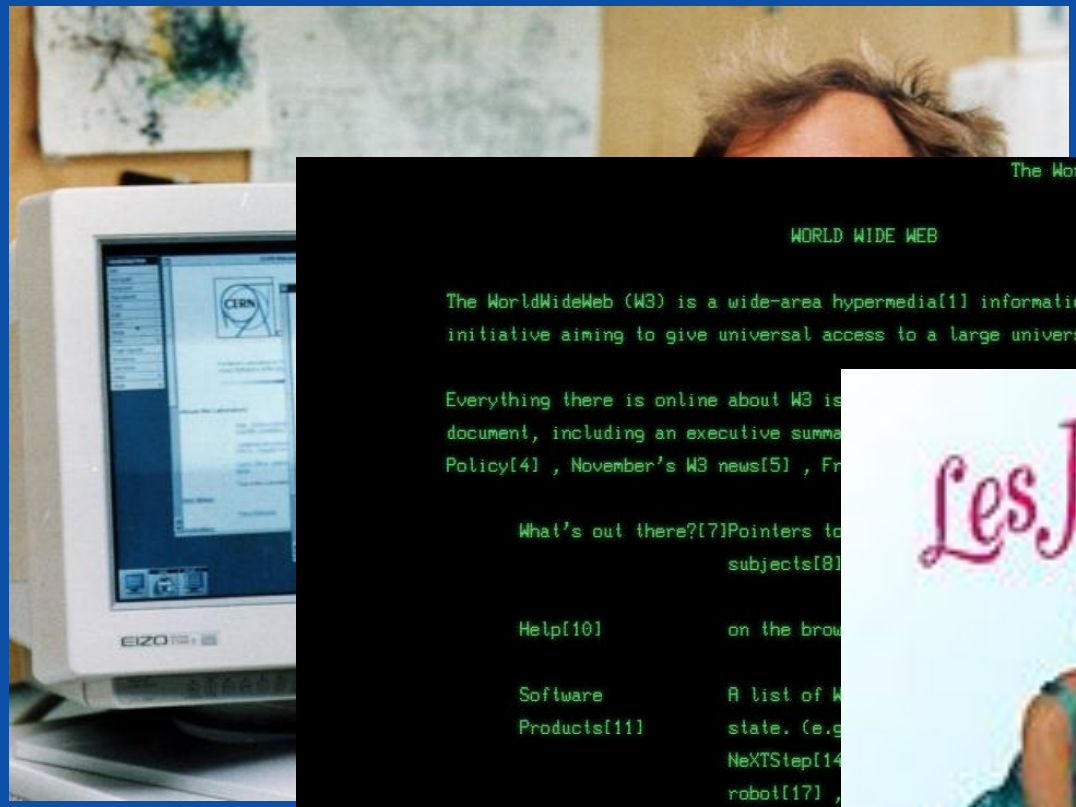
Software Products[11] A list of W3 project components and their current state. (e.g. Line Mode[12] ,X11 Viola[13] , NeXTStep[14] , Servers[15] , Tools[16] , Mail robot[17] , Library[18])

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

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

Ensimmäinen WWW-sivu

Innovaatioita: WWW

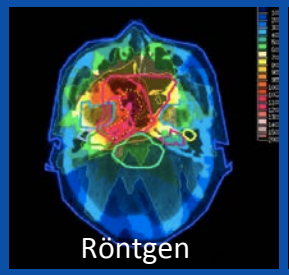


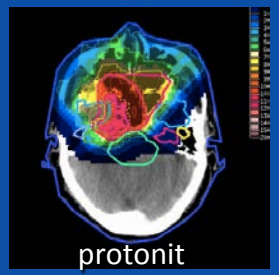
Ensimmäinen WWW-kuva

Innovaatioita: Lääketieteellisiä sovelluksia

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

Hadroniterapia

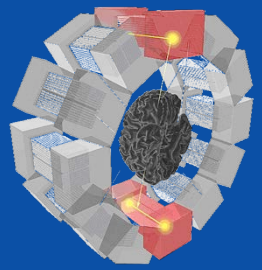


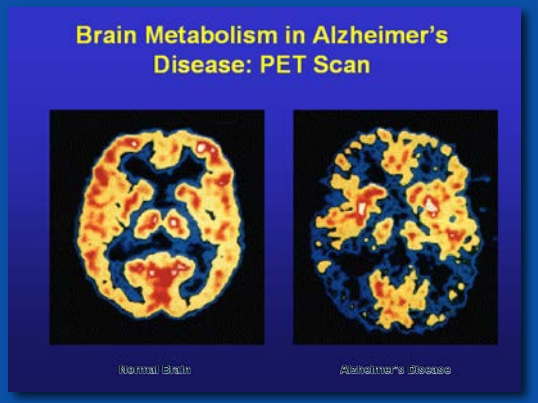


>100’000 potilasta maailmanlaajuisesti (45 yksikköä)
>50’000 potilasta Euroopassa (14 yksikköä)

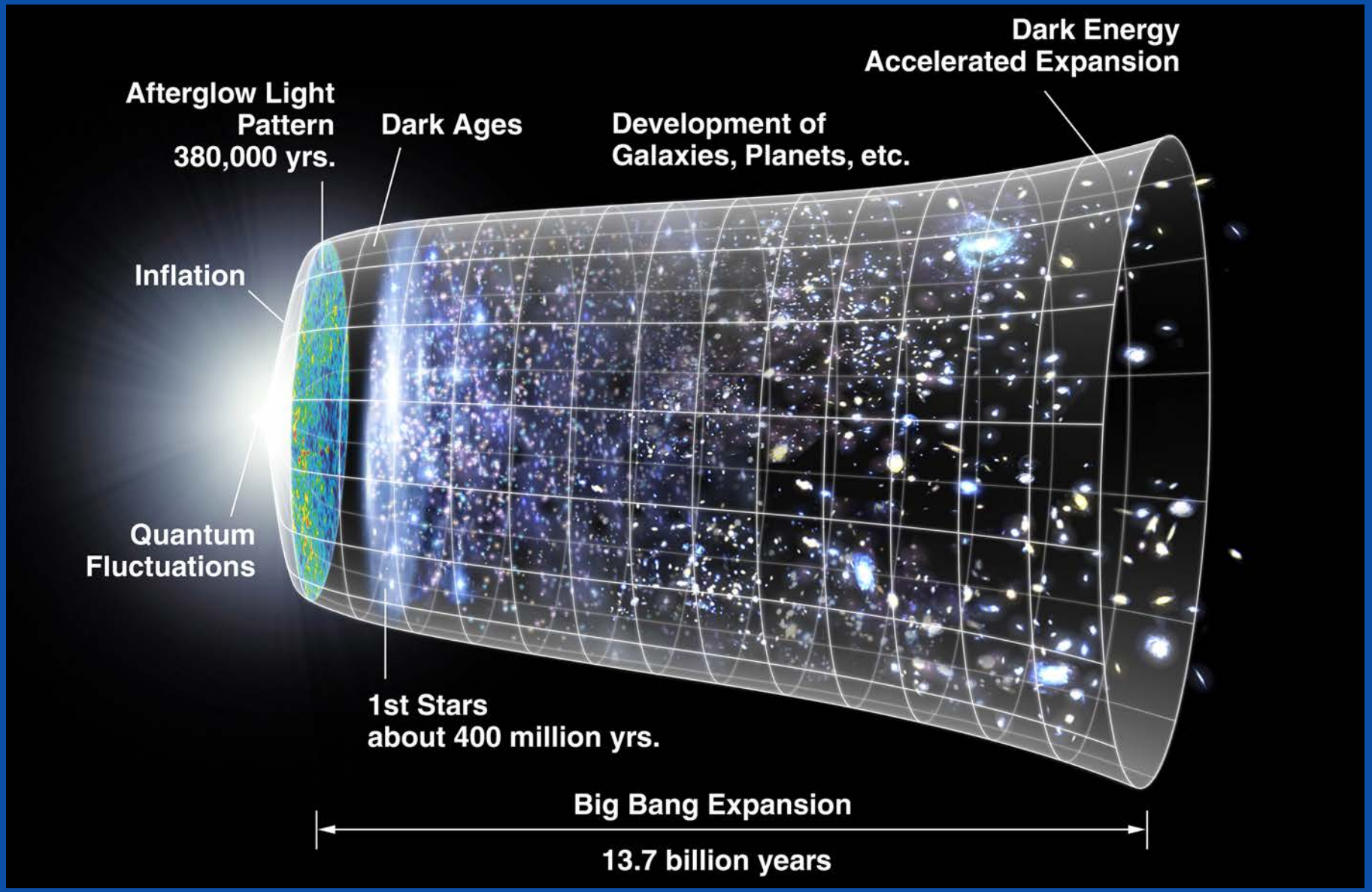
Kuvantaminen

PET skanneri

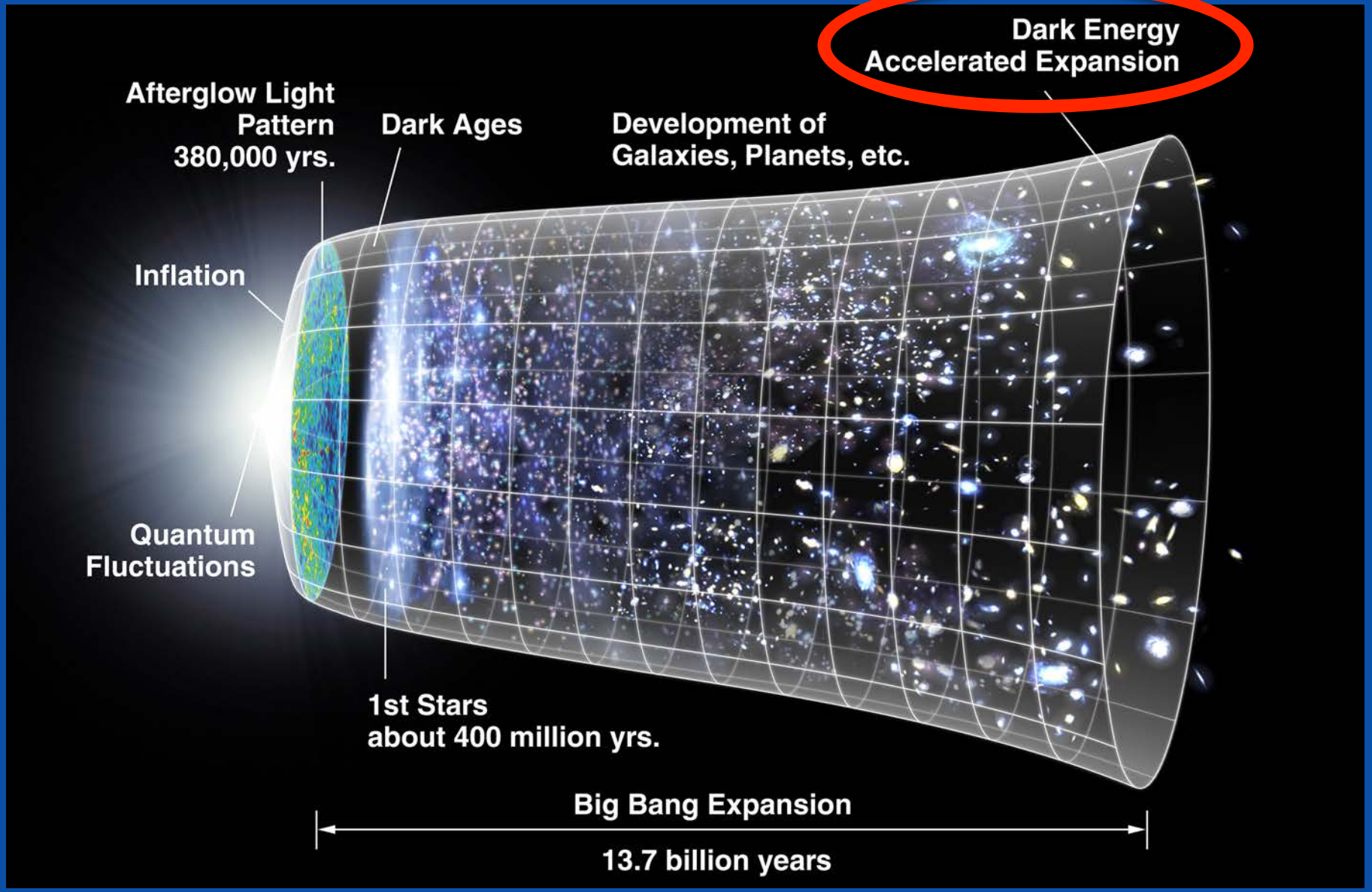




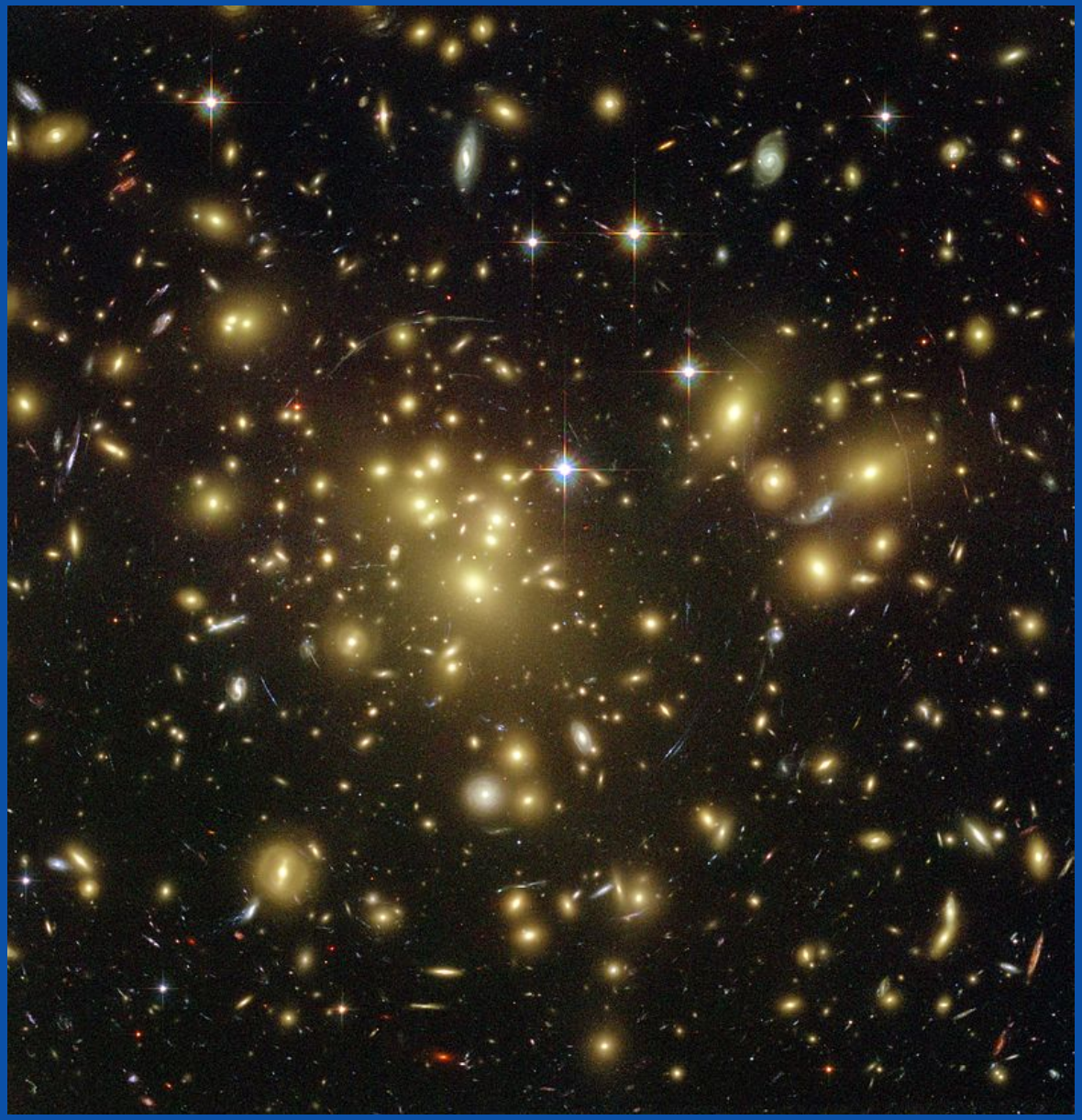
Mitä seuraavaksi? (avoimia kysymyksiä)



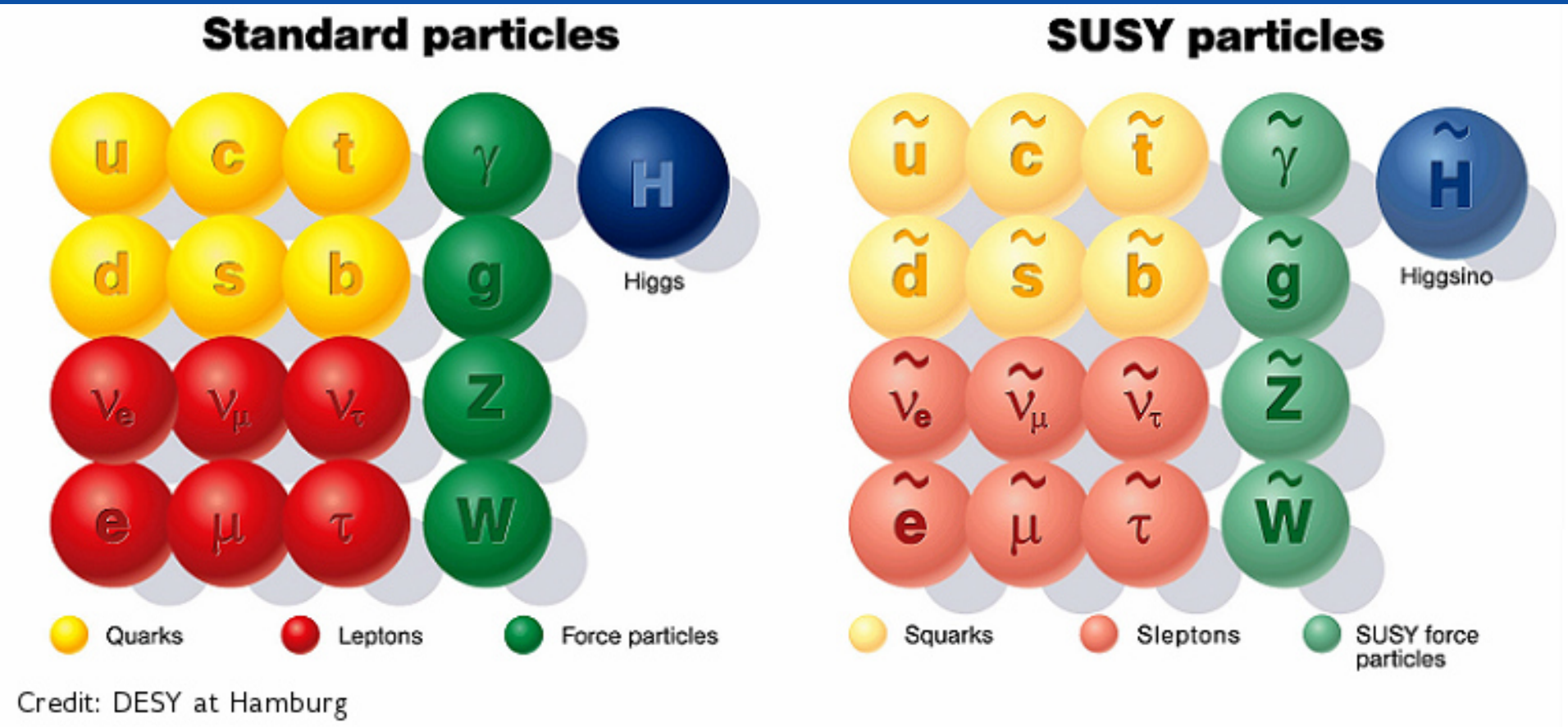
Mitä seuraavaksi? (avoimia kysymyksiä)



Musta aine?



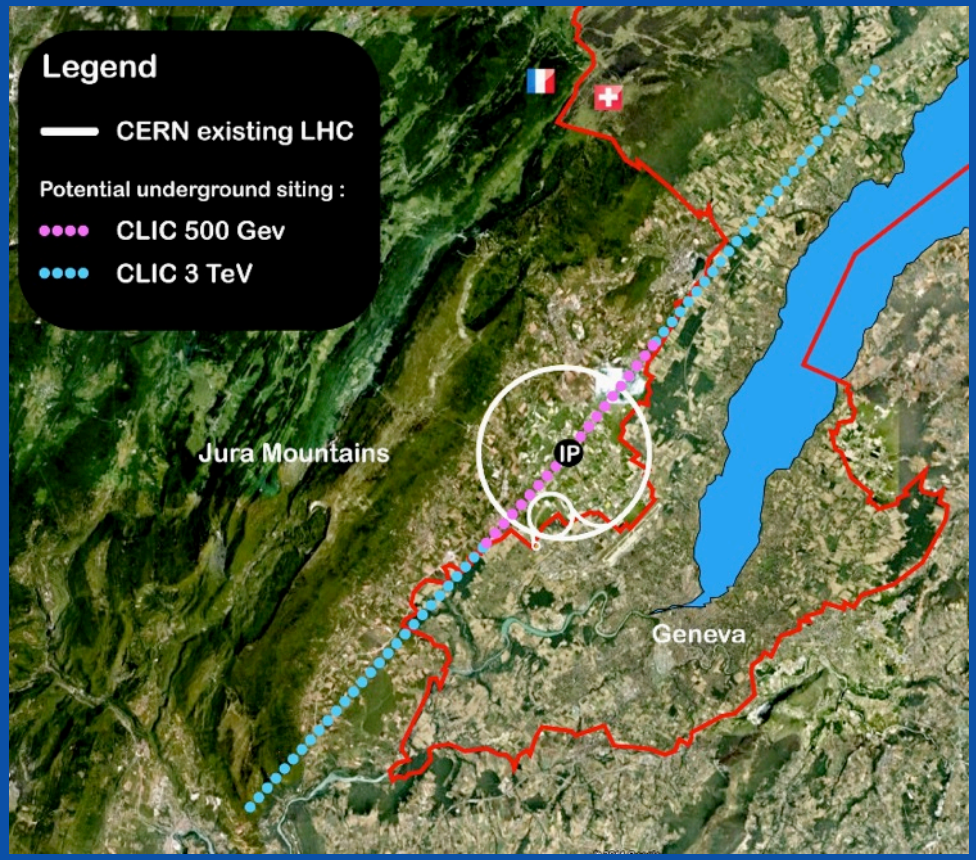
Supersymmetria (SUSY)?



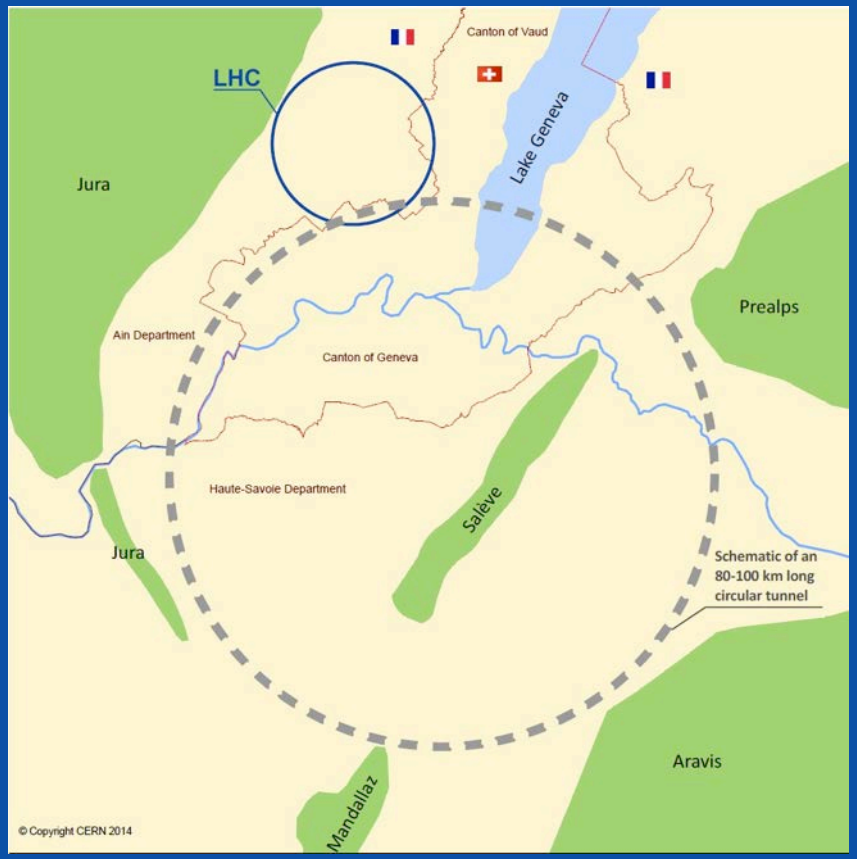
Credit: DESY at Hamburg

CERNin tulevaisuus? – Think Big!

Compact Linear Collider (CLIC)

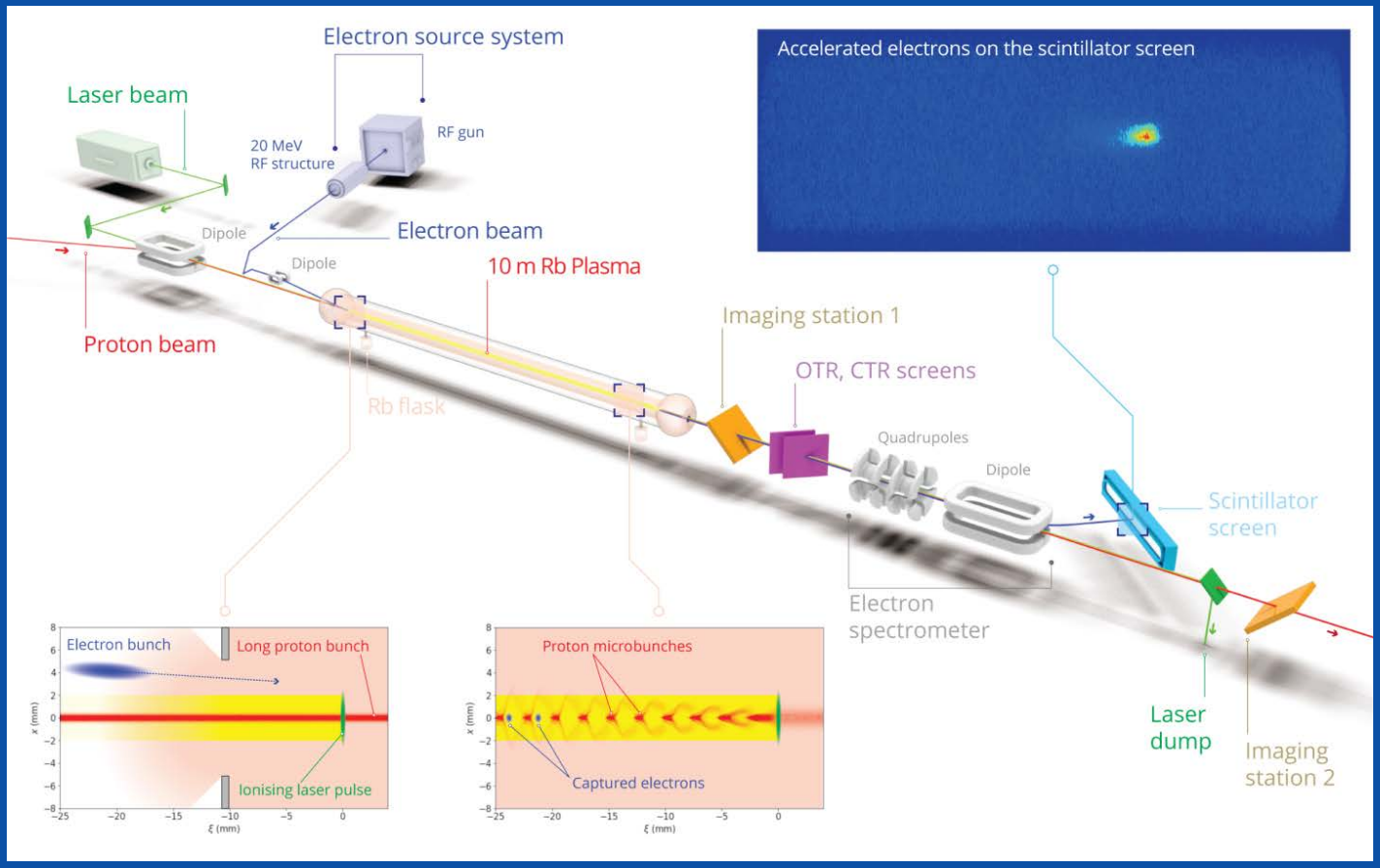


Future Circular Collider (FCC)



CERNin tulevaisuus? – Tarvitaanko todella noin isoja kiihdyttimiä?

Entä jos LHC saataisiin toteutettua alle sadan metrin matkalla?



Advanced Proton Driven Plasma Wakefield Acceleration Experiment – AWAKE

Suomi ja CERN

Suomi CERNissä

- Jäsen vuodesta 1991, tämänhetkinen jäsenmaksu n. 13 milj. EUR (1,32% 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 60, joista n. 2/3 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

Onko joku vielä hereillä?

Jos on, niin kiitos tarkkaavaisuudesta!