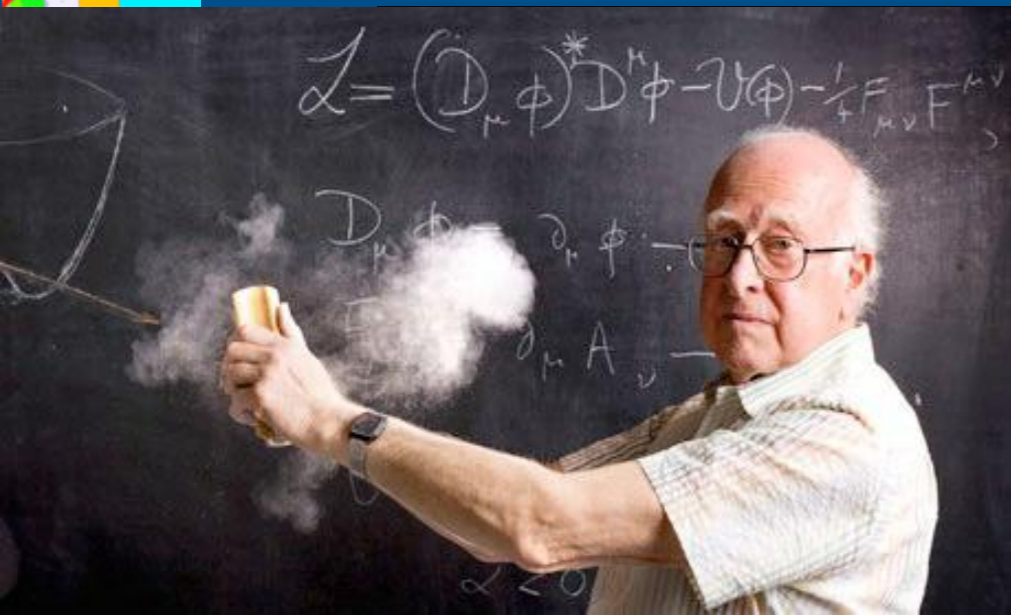
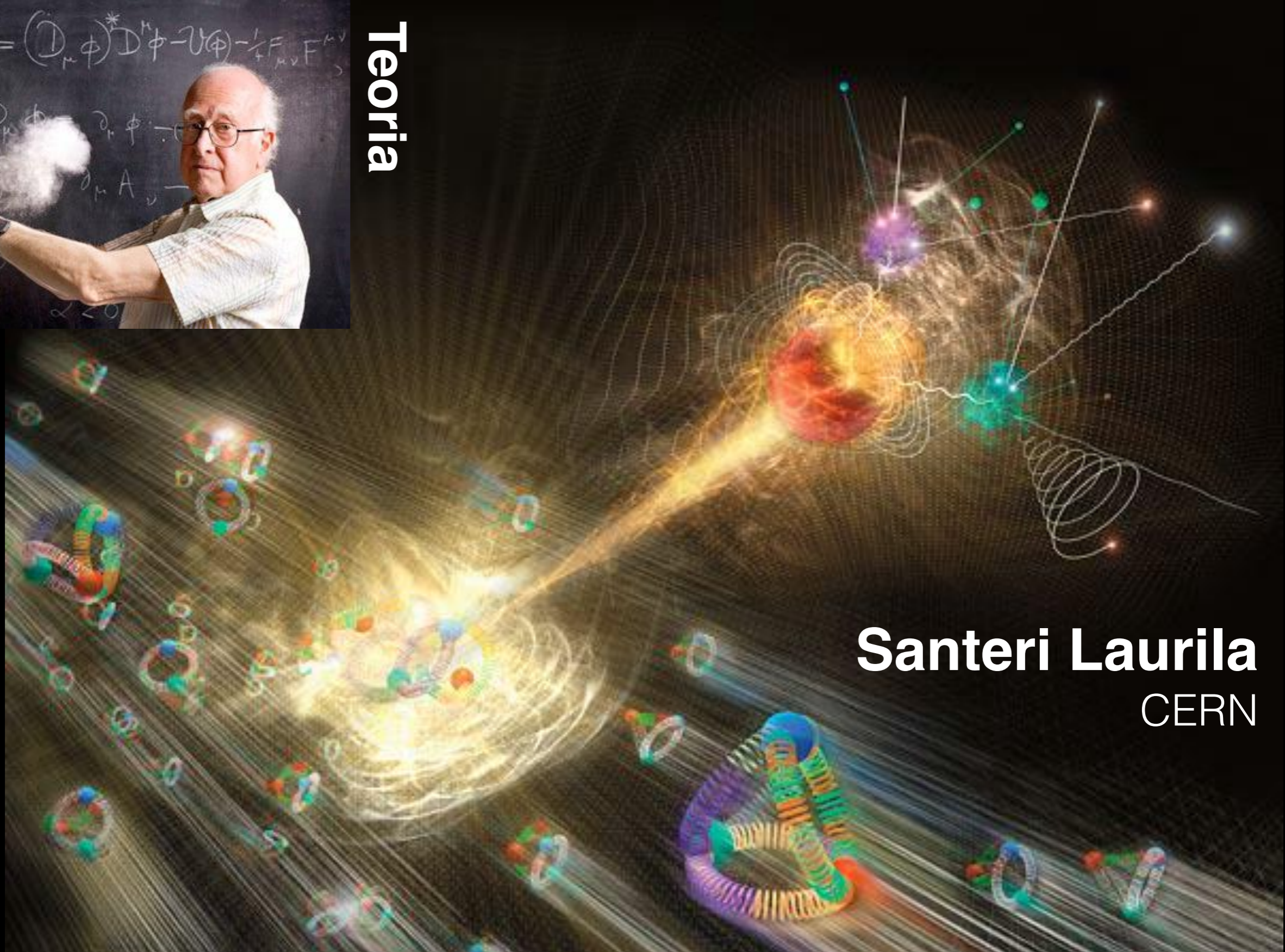




Teoriasta kokeisiin, kokeista teoriaksi



Teoria



Kokeet

Santeri Laurila
CERN



Fyysikoille riittää työtä



Ymmärryksemme luonnosta on lisääntynyt viime vuosikymmeninä valtavaa vauhtia, mutta työ on pahasti kesken

Ymmärryksemme luonnosta on lisääntynyt viime vuosikymmeninä valtavaa vauhtia, mutta työ on pahasti kesken

- Mitä on **pimeä aine**?
- Entä **pimeä energia**? Miten **gravitaatio** yhdistetään muihin (kvantti)vuorovaikutuksiin? Onko ulottuvuuksia vain arkipäiväiset 3+1?
- Miksi maailmankaikkeudessa on **enemmän materiaa kuin antimateriaa**?
- Onko löytämämme **Higgsin bosoni** standardimallin mukainen ja ainoa?
- Miten selittää **neutriinojen massa**?
- Miksi hiukkasperheitä on kolme? Onko "alkeishiukkasilla" sisäinen rakenne? Onko luonnossa lisää symmetrioita? Supersymmetria?



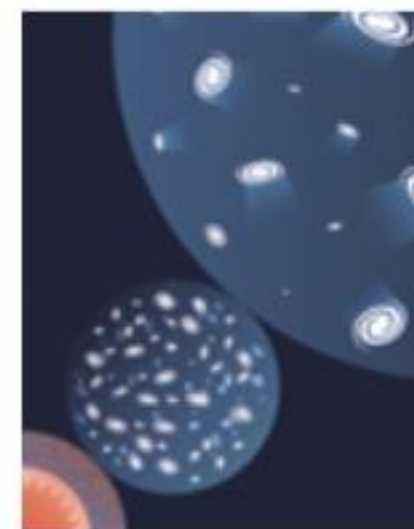
Higgs boson



Neutrino mass



Dark matter



Cosmic acceleration

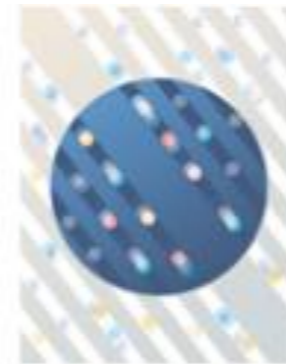


Explore the unknown

Teoria ei tarjoa selviä suuntaviivoja, joten nyt on kokeiden vuoro ajaa fysiikan kehitystä eteenpäin!



Higgs boson



Neutrino mass



Dark matter



Cosmic acceleration



Explore the unknown

Energy frontier colliders



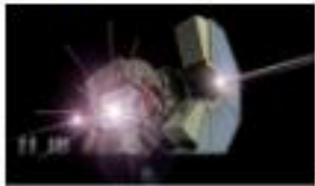
X

(X)

X

X

High-precision experiments



X

X

Neutrino experiments



X

X

Direct searches



X

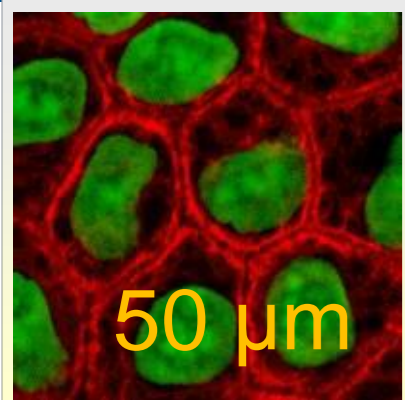
X

Cosmic surveys



X

X



Extra magnification?

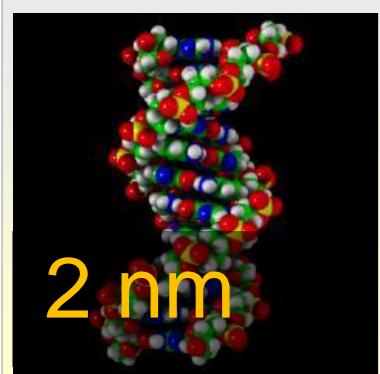
CELLS
Twenty per mm



Microscope

DeBroglie Wavelength

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

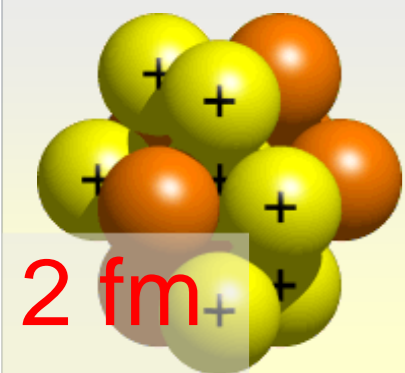


x 25 thousand

DNA
Five hundred thousand per mm



Electron microscope



x 1 million

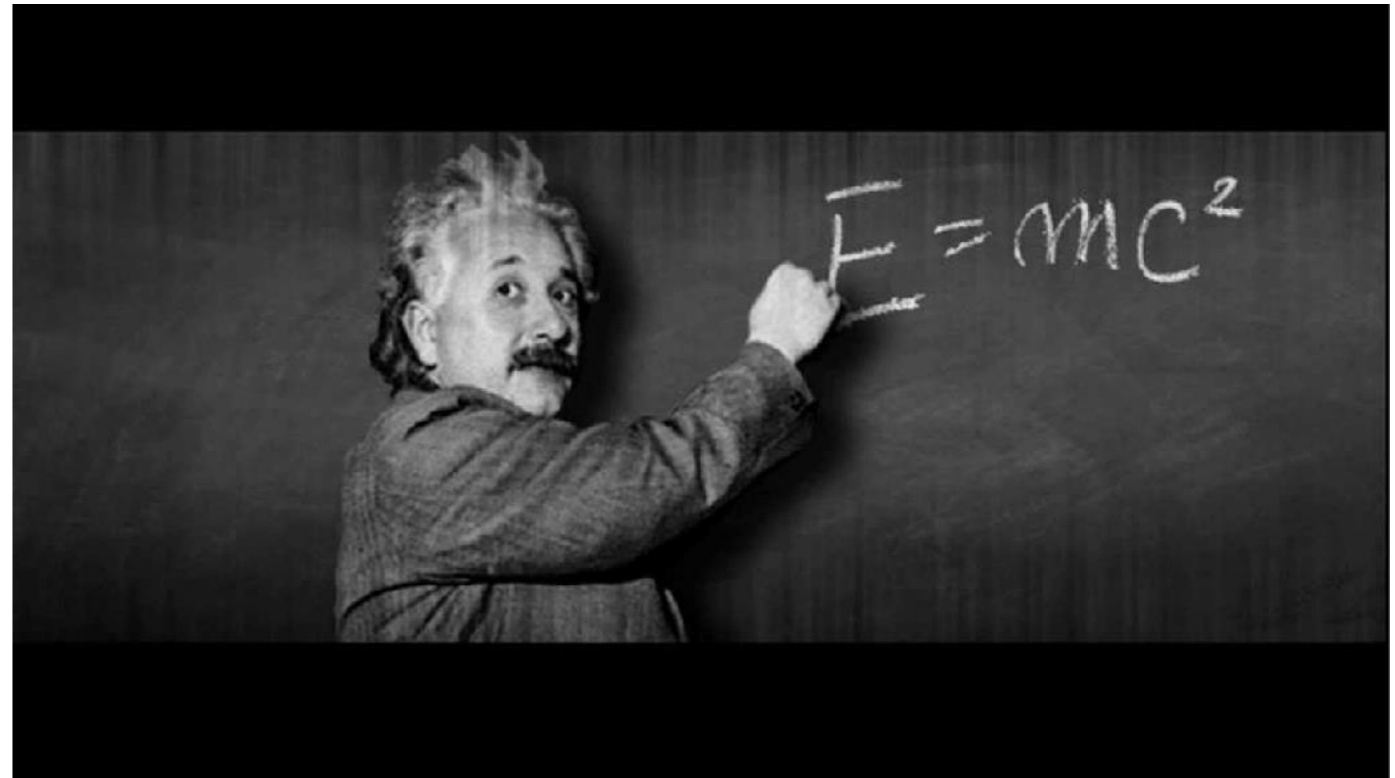
Nucleus
Five hundred billion per mm

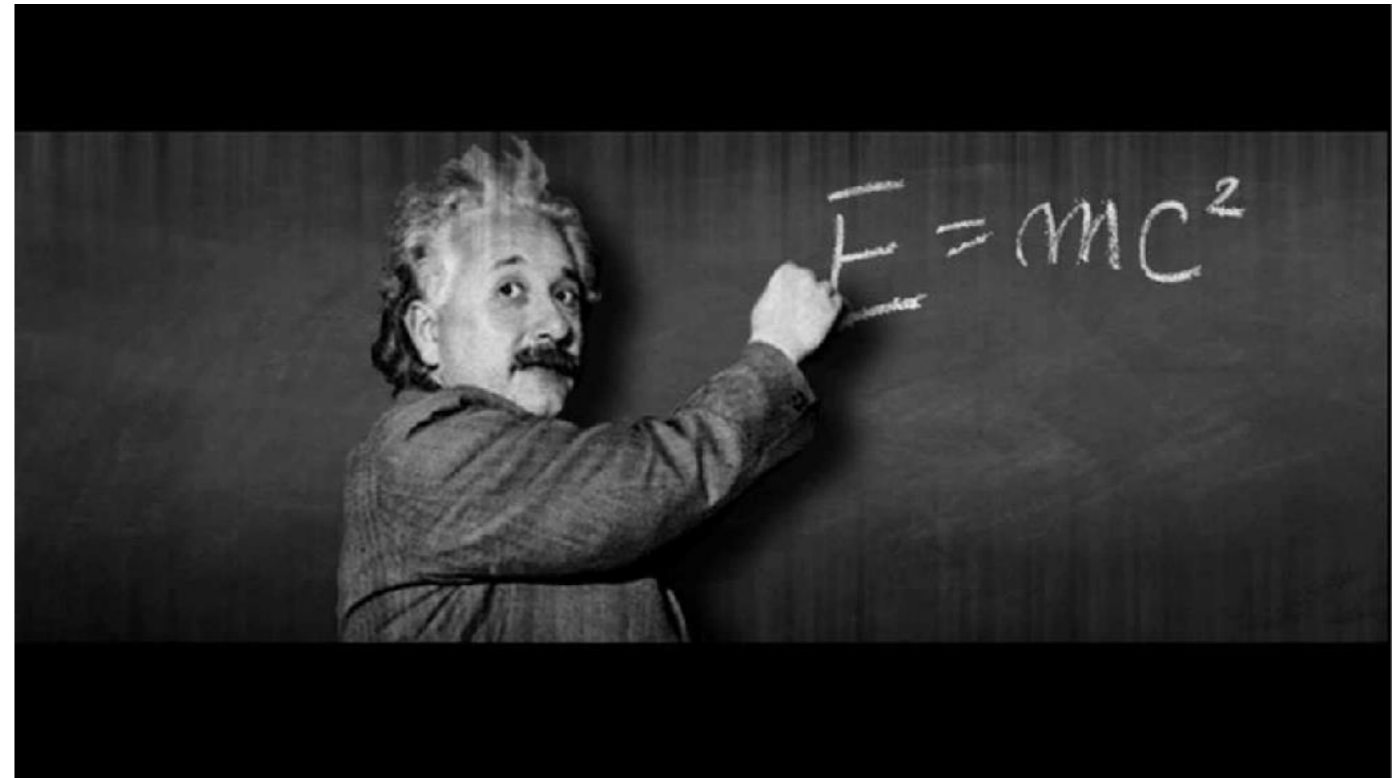
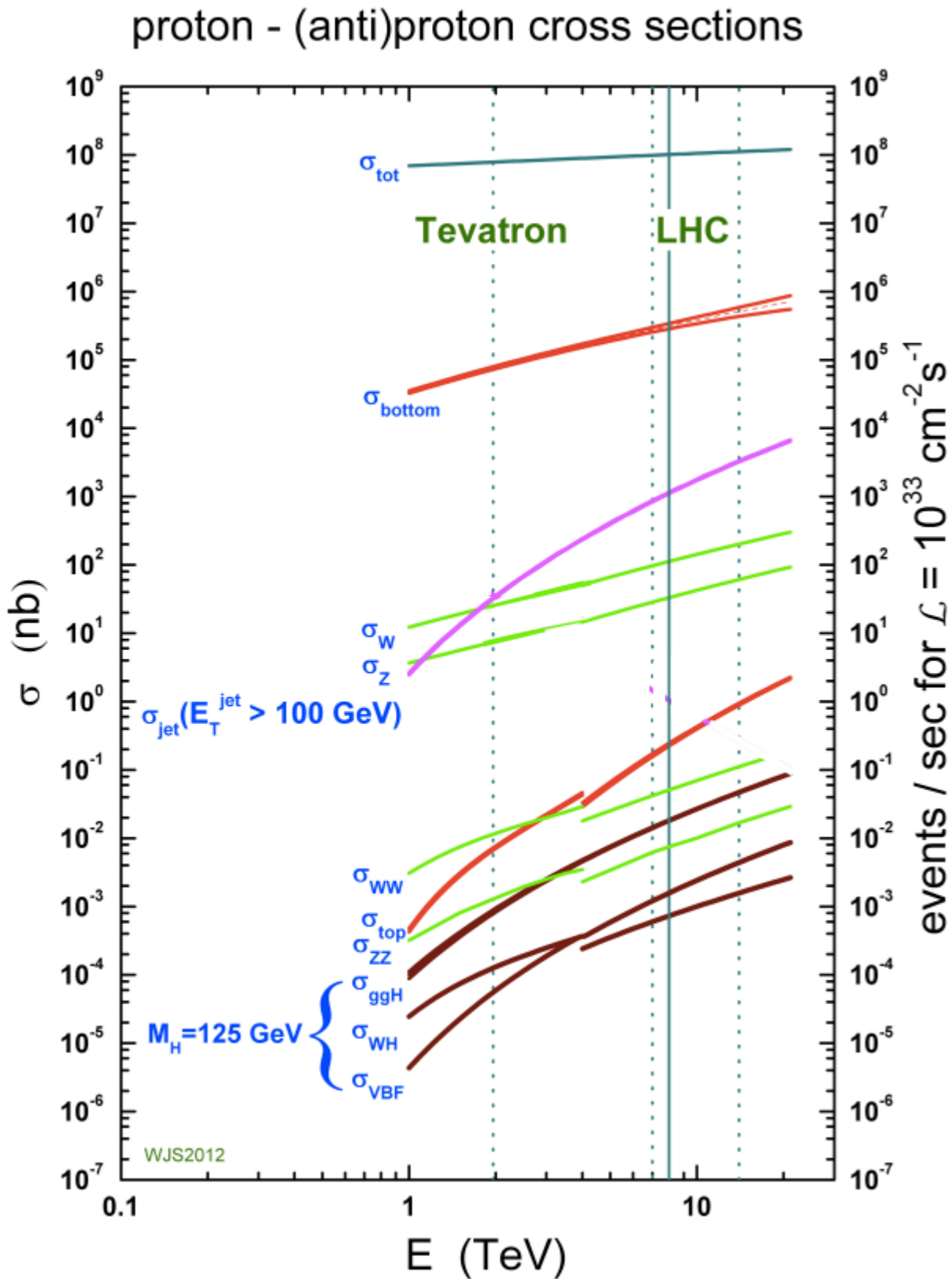
Particle Accelerators

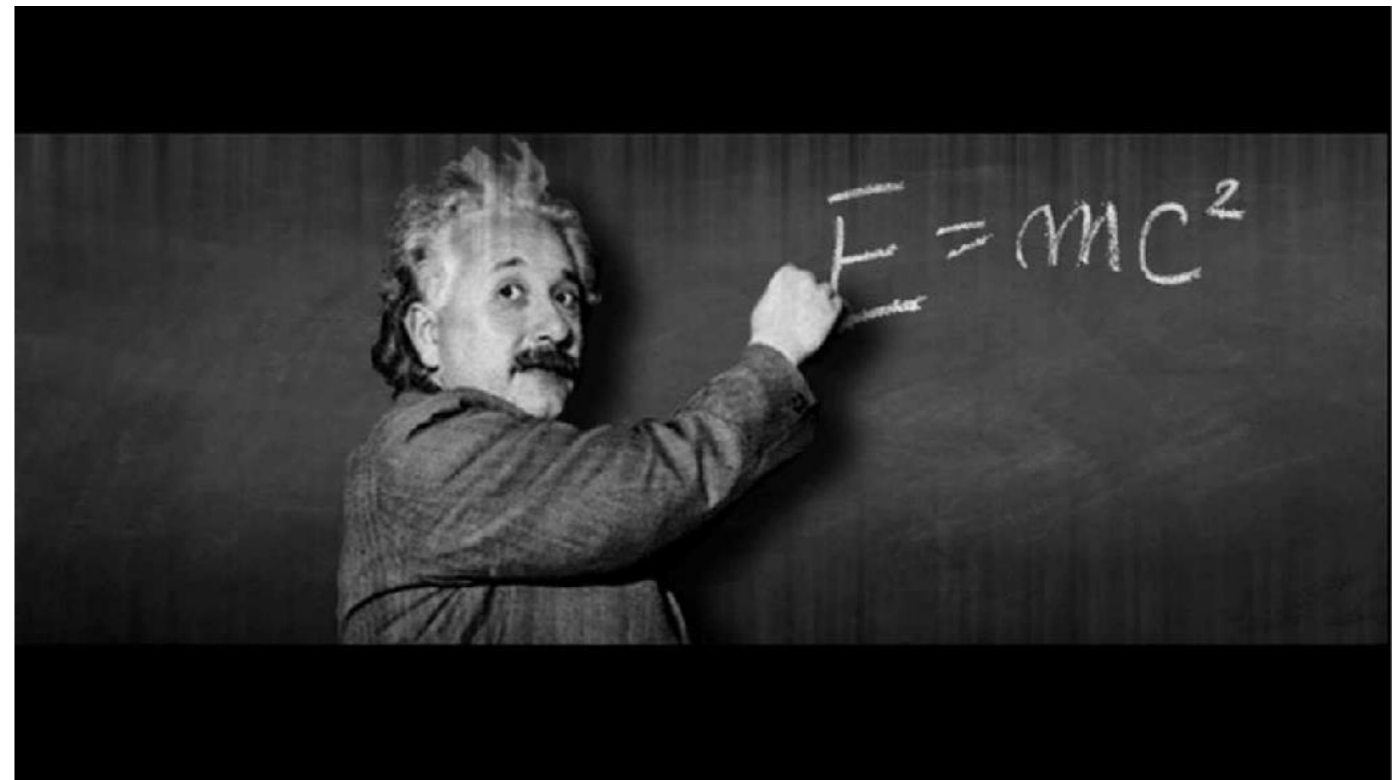
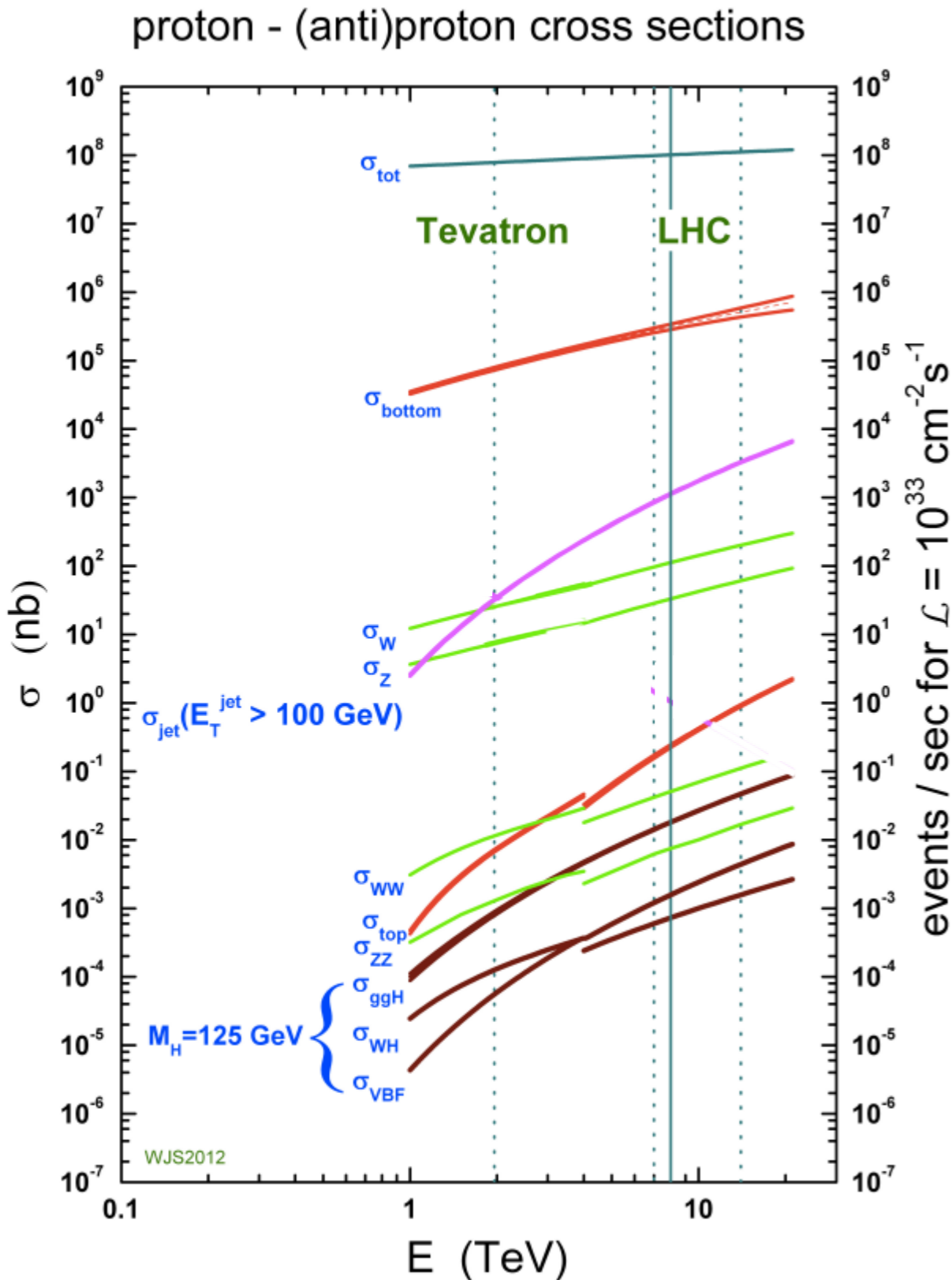


x 2 thousand

Quarks
More than one million billion per mm



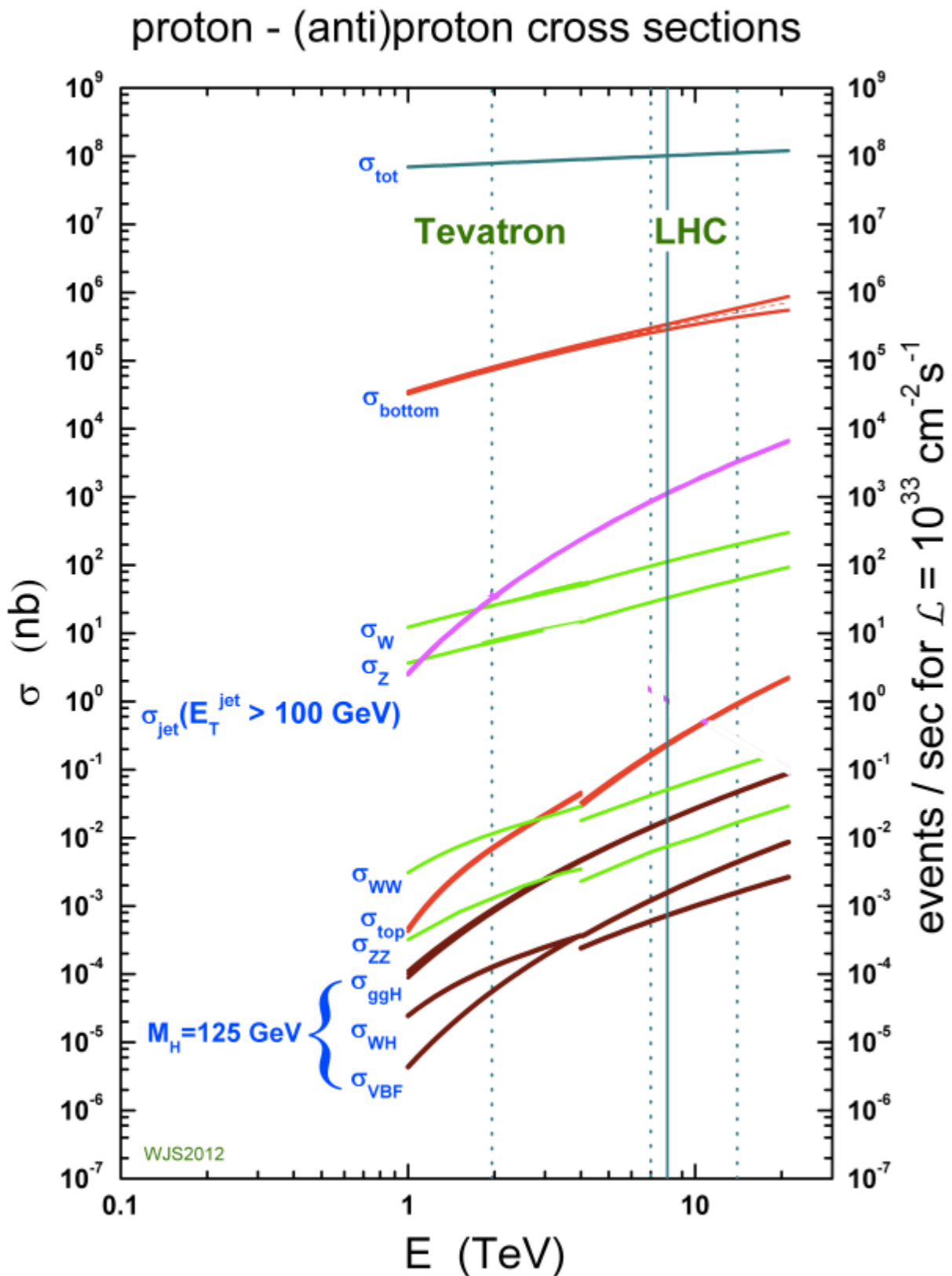




Hiukkastörmäyksissä protonien liike-energiaa muuttuu uusiksi, harvinaisemmiksi hiukkasiksi

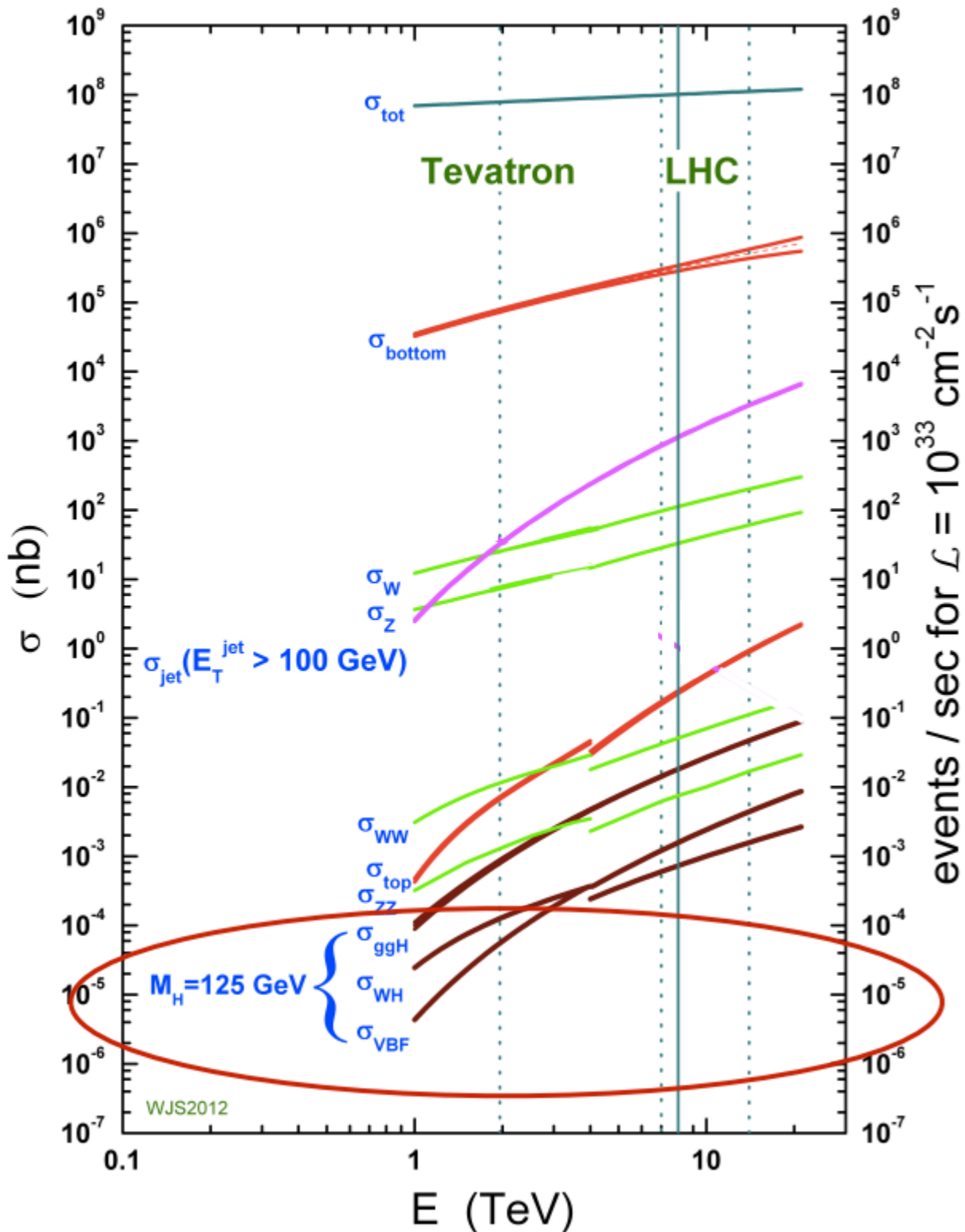
Uusia hiukkasia voi syntyä monenlaisia ja erilaisten prosessien kautta – kvanttifysiikkaa: voimme ennustaa vain **todennäköisyyksiä**

← Eri prosessien todennäköisyyttä kuvaa **vuorovaikutusala** (σ , pystyakselilla), joka riippuu **energiasta** (E , vaaka-akselilla)

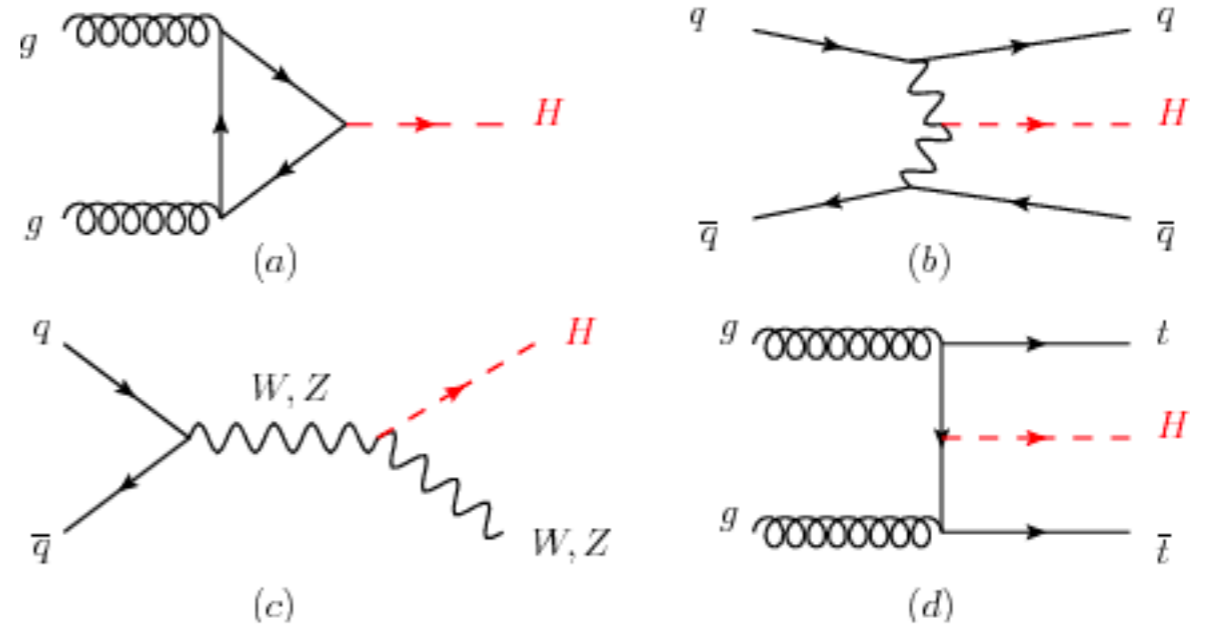


Tuottoprosessit eli miten protoneissa olevat kvarkit tai gluonit voivat törmätessään synnyttää uusia hiukkasia

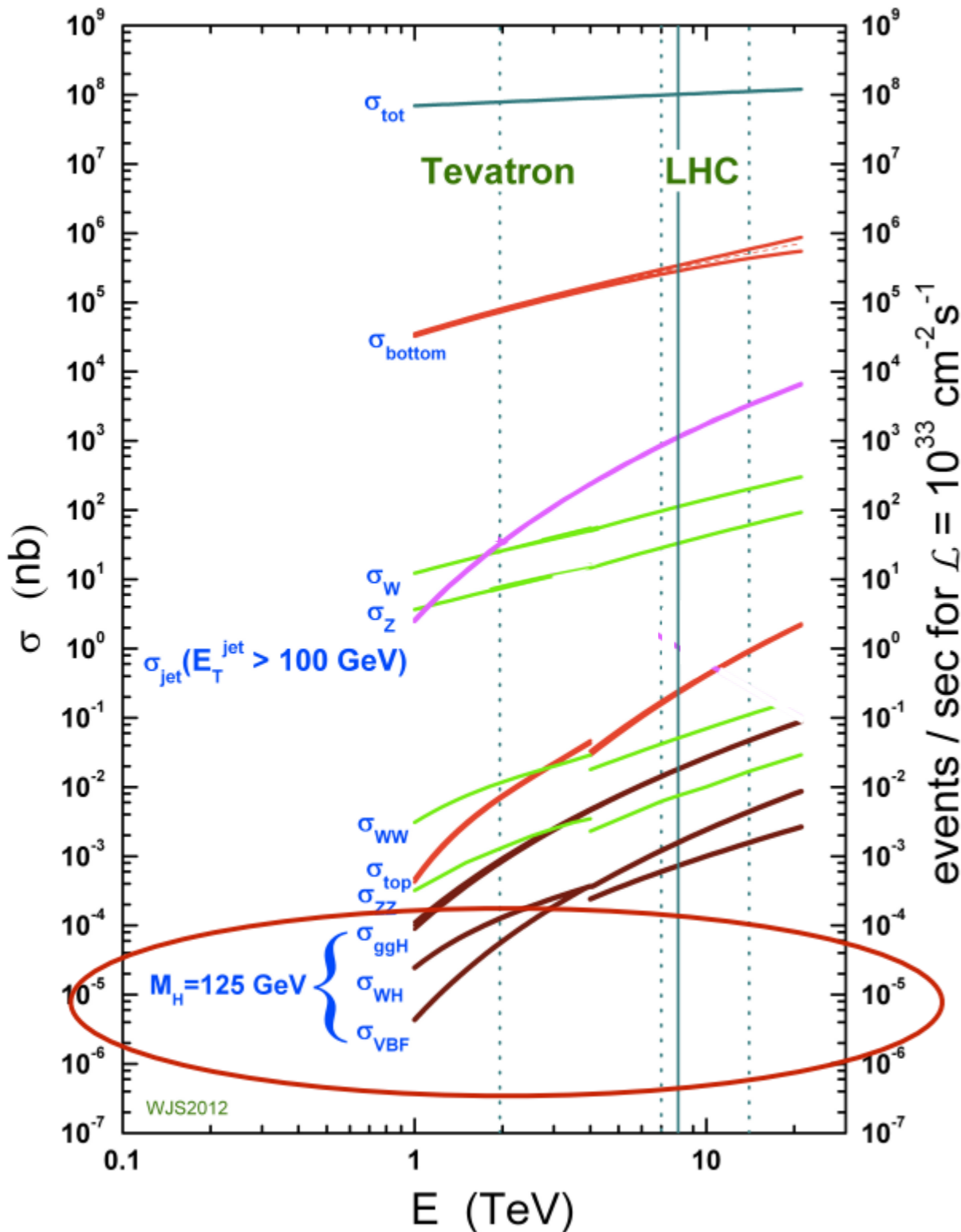
proton - (anti)proton cross sections



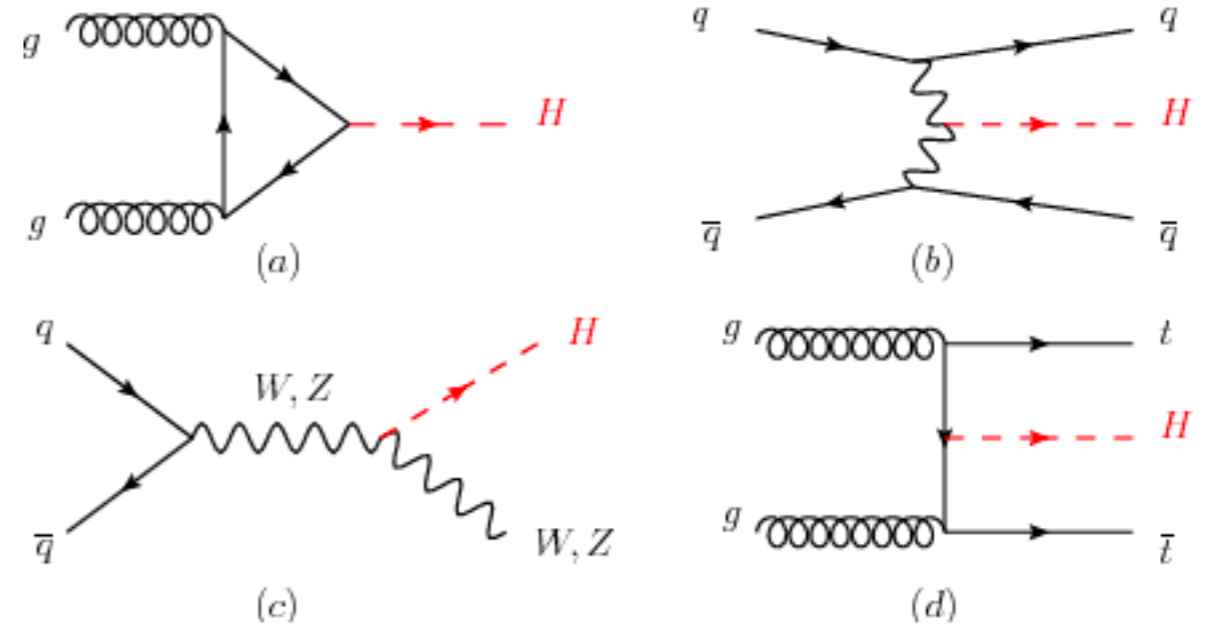
Tuottoprosessit eli miten protoneissa olevat kvarkit tai gluonit voivat törmätessään synnyttää uusia hiukkasia



proton - (anti)proton cross sections

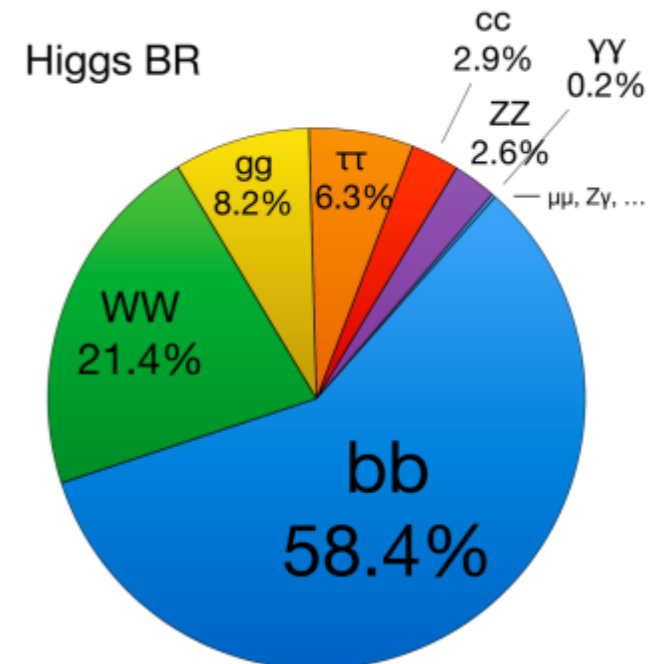


Tuottoprosessit eli miten protoneissa olevat kvarkit tai gluonit voivat törmätessään synnyttää uusia hiukkasia



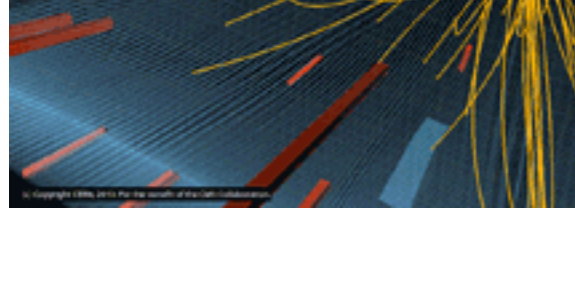
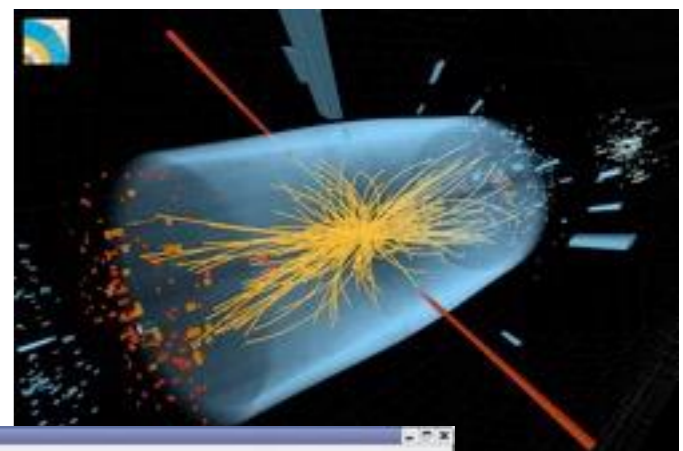
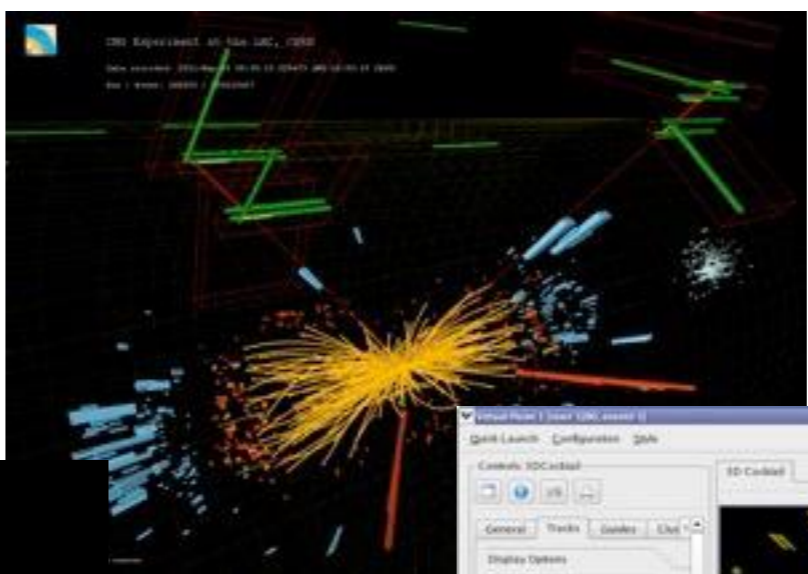
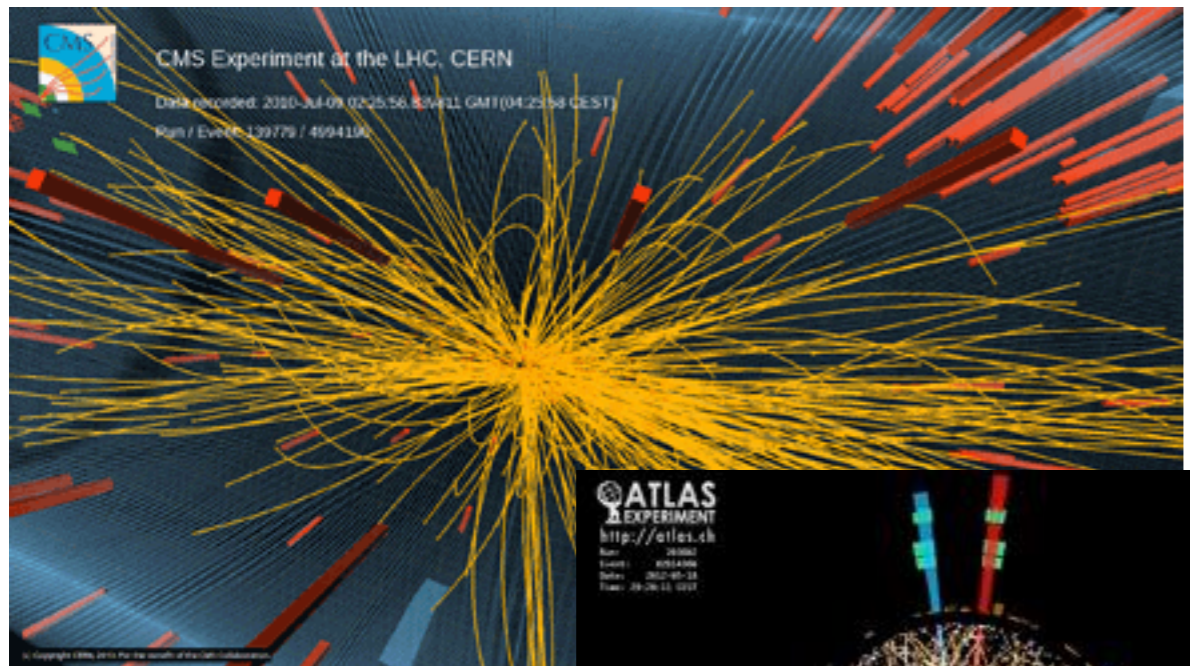
Hajoamisprosessit
lyhytikäisille hiukkasille (esim. Higgsin bosoni)

Nämä teorialaskut ovat kvanttifysiikkaa: tuloksena on "vain" **todennäköisyyksiä**

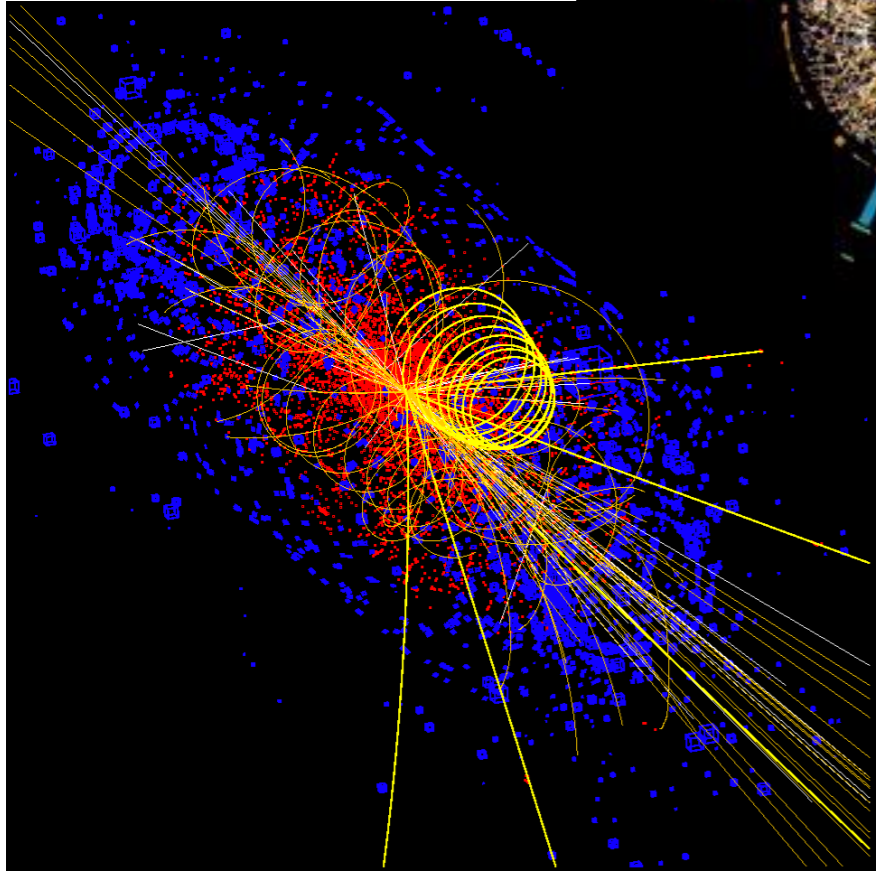




Miten verrata ennusteita dataan?



ment at the LHC, CERN
2010-Mar-30 11:04:14.111
132440
3087931
138
35985009

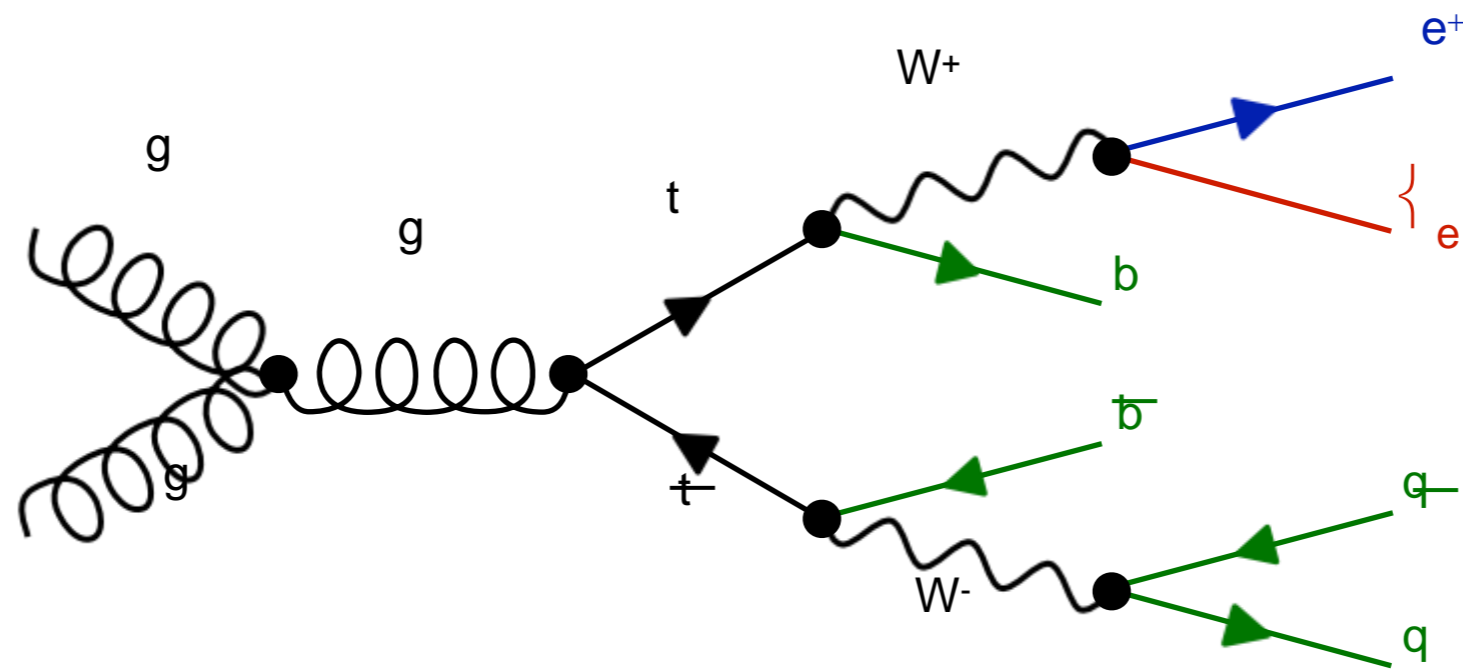
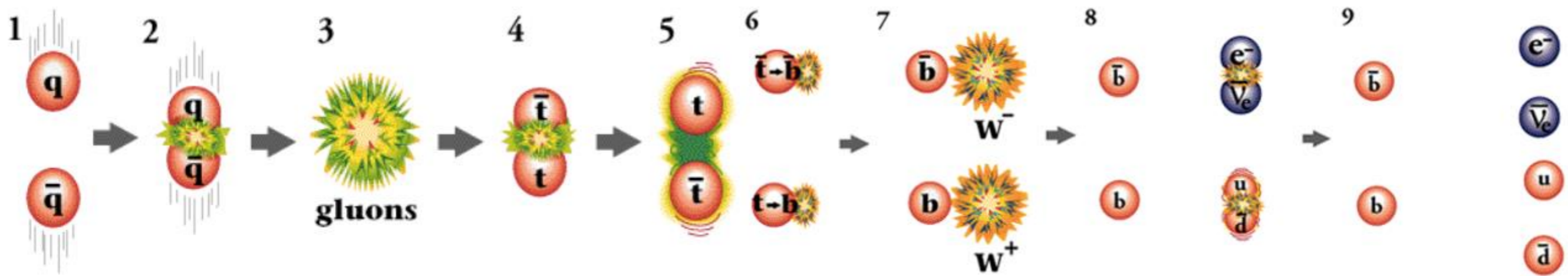


HT trigger
HT_Acceptance
HT_Et
HT_EtCorr
HT_EtCorr2D
HT_EtCorr3D
HT_EtCorr3D_2D
HT_EtCorr3D_3D
HT_EtCorr3D_4D
HT_EtCorr3D_5D
HT_EtCorr3D_6D
HT_EtCorr3D_7D
HT_EtCorr3D_8D
HT_EtCorr3D_9D
HT_EtCorr3D_10D
HT_EtCorr3D_11D
HT_EtCorr3D_12D
HT_EtCorr3D_13D
HT_EtCorr3D_14D
HT_EtCorr3D_15D
HT_EtCorr3D_16D
HT_EtCorr3D_17D
HT_EtCorr3D_18D
HT_EtCorr3D_19D
HT_EtCorr3D_20D
HT_EtCorr3D_21D
HT_EtCorr3D_22D
HT_EtCorr3D_23D
HT_EtCorr3D_24D
HT_EtCorr3D_25D
HT_EtCorr3D_26D
HT_EtCorr3D_27D
HT_EtCorr3D_28D
HT_EtCorr3D_29D
HT_EtCorr3D_30D
HT_EtCorr3D_31D
HT_EtCorr3D_32D
HT_EtCorr3D_33D
HT_EtCorr3D_34D
HT_EtCorr3D_35D
HT_EtCorr3D_36D
HT_EtCorr3D_37D
HT_EtCorr3D_38D
HT_EtCorr3D_39D
HT_EtCorr3D_40D
HT_EtCorr3D_41D
HT_EtCorr3D_42D
HT_EtCorr3D_43D
HT_EtCorr3D_44D
HT_EtCorr3D_45D
HT_EtCorr3D_46D
HT_EtCorr3D_47D
HT_EtCorr3D_48D
HT_EtCorr3D_49D
HT_EtCorr3D_50D
HT_EtCorr3D_51D
HT_EtCorr3D_52D
HT_EtCorr3D_53D
HT_EtCorr3D_54D
HT_EtCorr3D_55D
HT_EtCorr3D_56D
HT_EtCorr3D_57D
HT_EtCorr3D_58D
HT_EtCorr3D_59D
HT_EtCorr3D_60D
HT_EtCorr3D_61D
HT_EtCorr3D_62D
HT_EtCorr3D_63D
HT_EtCorr3D_64D
HT_EtCorr3D_65D
HT_EtCorr3D_66D
HT_EtCorr3D_67D
HT_EtCorr3D_68D
HT_EtCorr3D_69D
HT_EtCorr3D_70D
HT_EtCorr3D_71D
HT_EtCorr3D_72D
HT_EtCorr3D_73D
HT_EtCorr3D_74D
HT_EtCorr3D_75D
HT_EtCorr3D_76D
HT_EtCorr3D_77D
HT_EtCorr3D_78D
HT_EtCorr3D_79D
HT_EtCorr3D_80D
HT_EtCorr3D_81D
HT_EtCorr3D_82D
HT_EtCorr3D_83D
HT_EtCorr3D_84D
HT_EtCorr3D_85D
HT_EtCorr3D_86D
HT_EtCorr3D_87D
HT_EtCorr3D_88D
HT_EtCorr3D_89D
HT_EtCorr3D_90D
HT_EtCorr3D_91D
HT_EtCorr3D_92D
HT_EtCorr3D_93D
HT_EtCorr3D_94D
HT_EtCorr3D_95D
HT_EtCorr3D_96D
HT_EtCorr3D_97D
HT_EtCorr3D_98D
HT_EtCorr3D_99D

Törmäystapahtumia on simuloitava suuria määriä, eri kerroilla erilaisia lopputulemia teorian todennäköisyysjakaumien mukaisesti



Tässä yksi mahdollinen prosessi, kahden top-kvarkin tuotto ja hajoaminen:



Kvarkit eivät voi esiintyä vapaina, vaan muodostavat hadroniryöppyjä

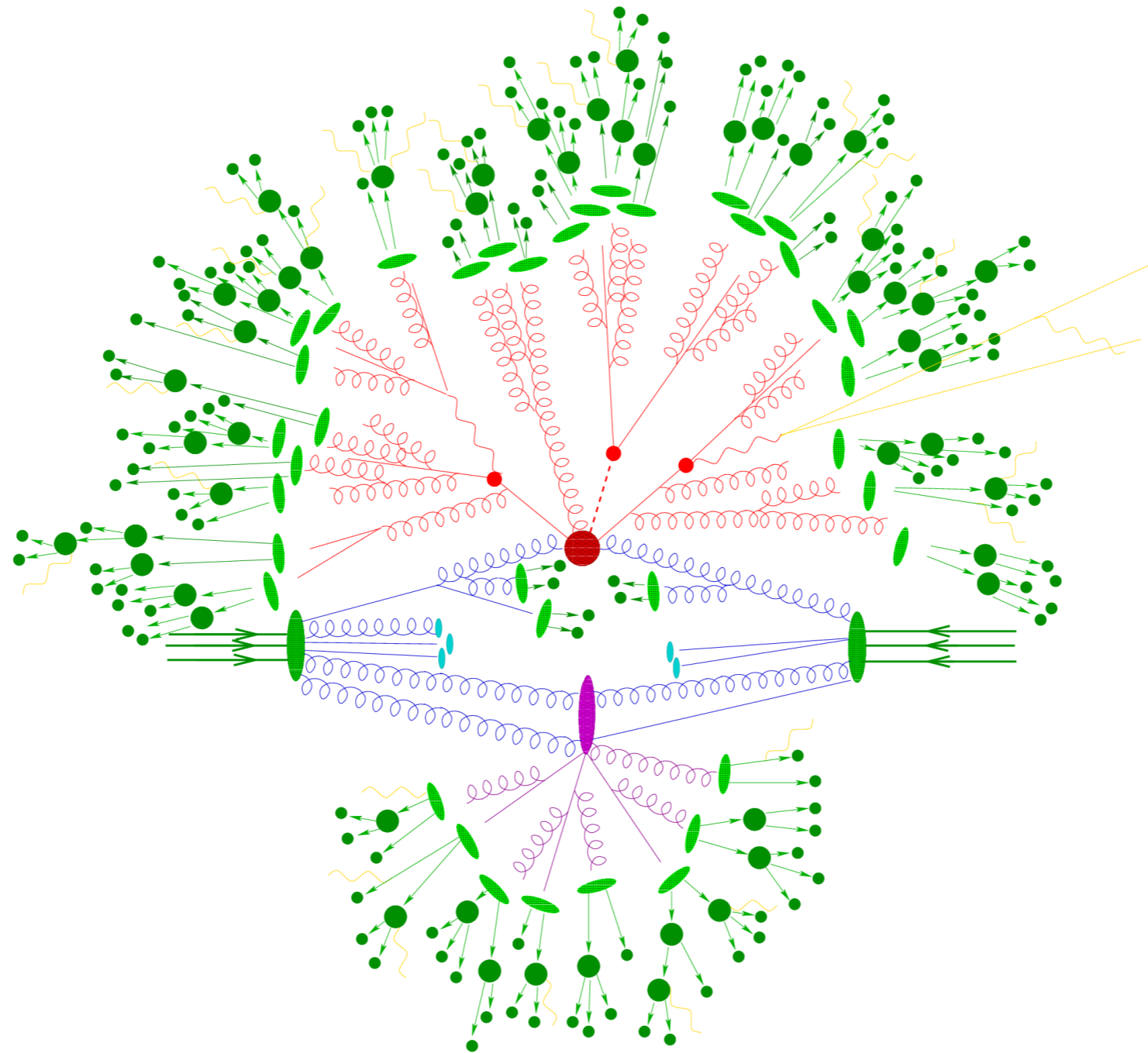
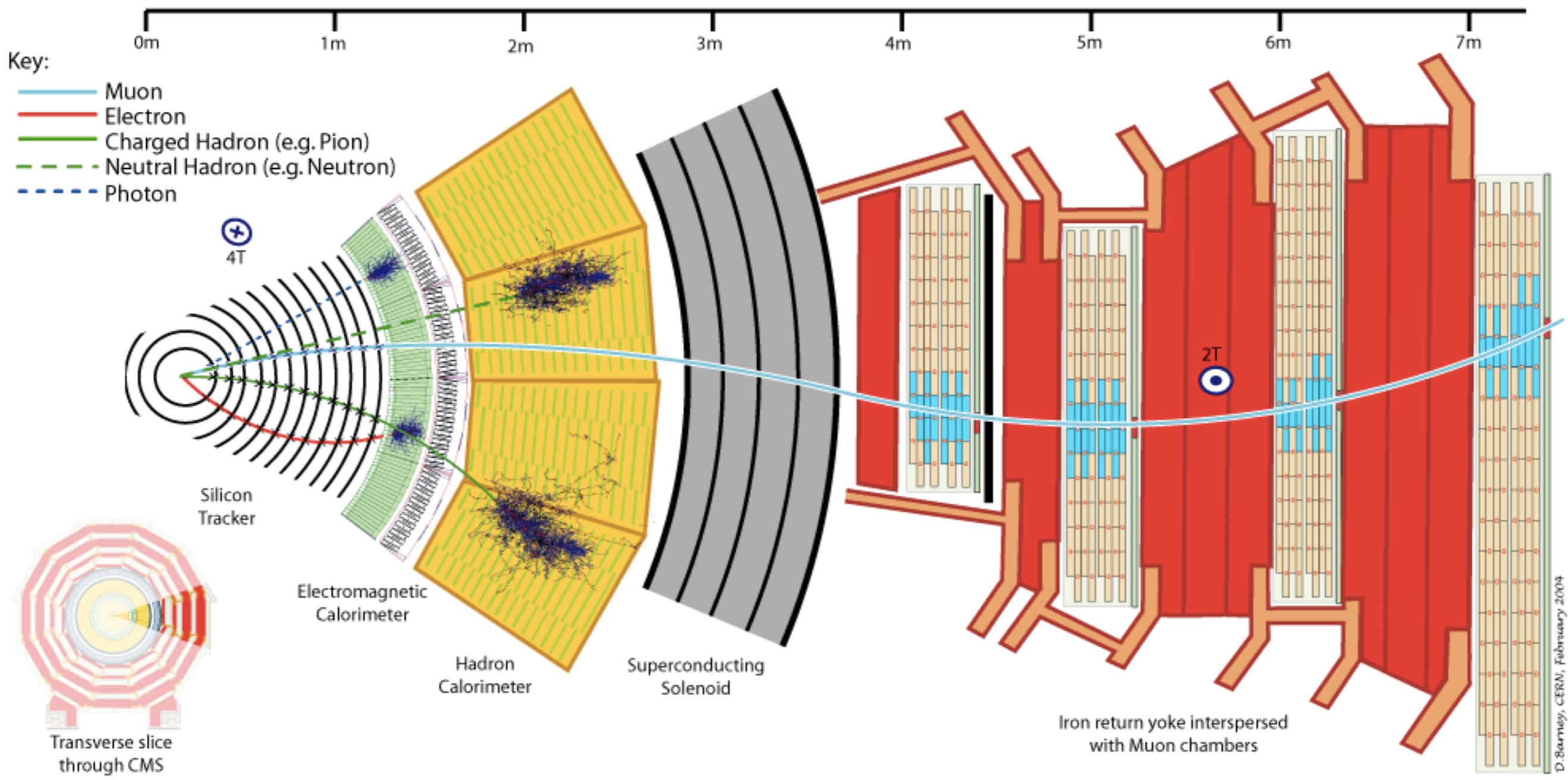


Figure 7.1: Sketch showing the different steps of simulation of a proton-proton collision with a Monte Carlo event generator. The red circle represents the hard interaction of two partons (blue lines), surrounded by red parton showers. The partons become





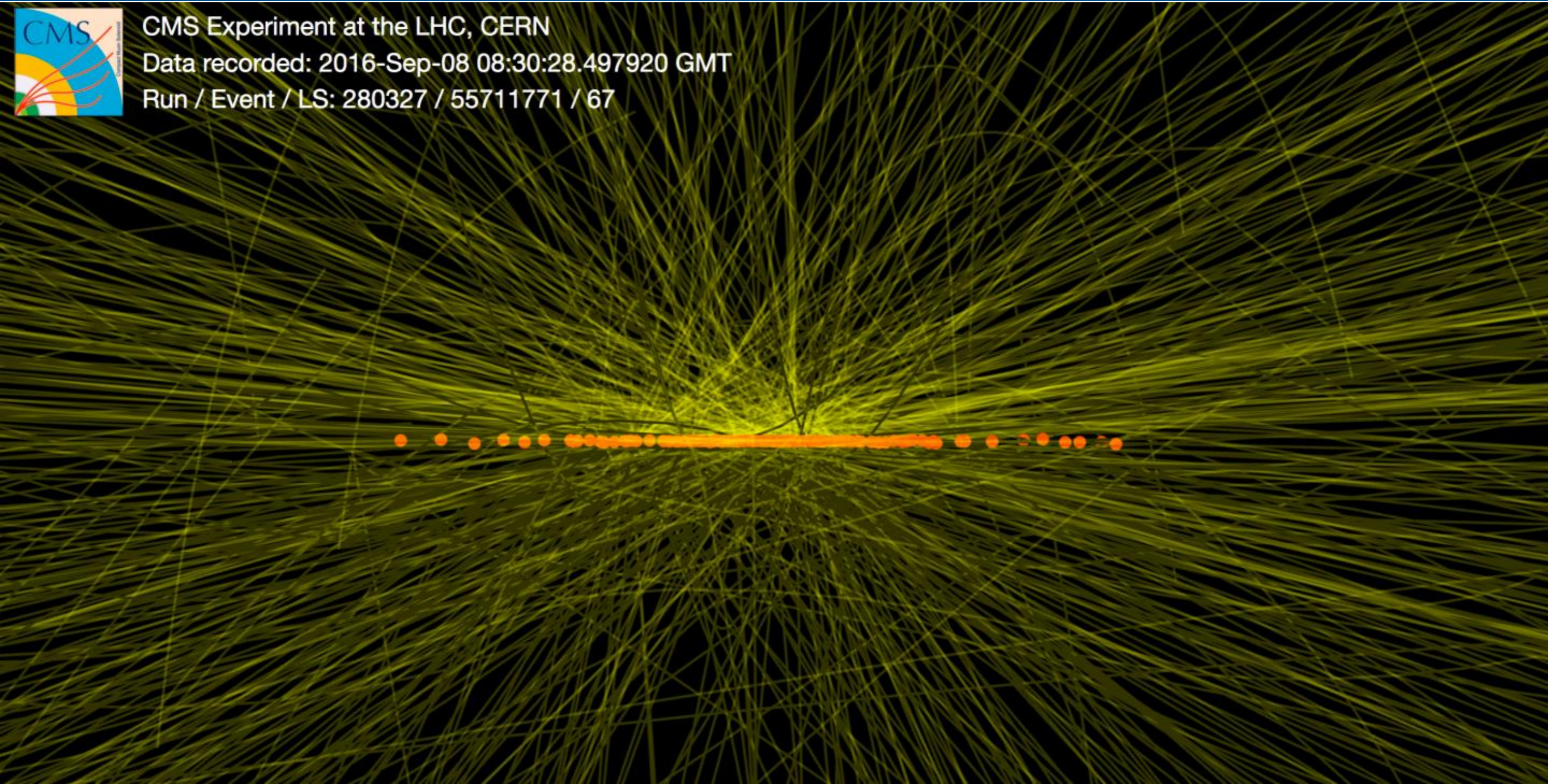
Vaihe 4: Lomittaiset törmäykset



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2016-Sep-08 08:30:28.497920 GMT

Run / Event / LS: 280327 / 55711771 / 67

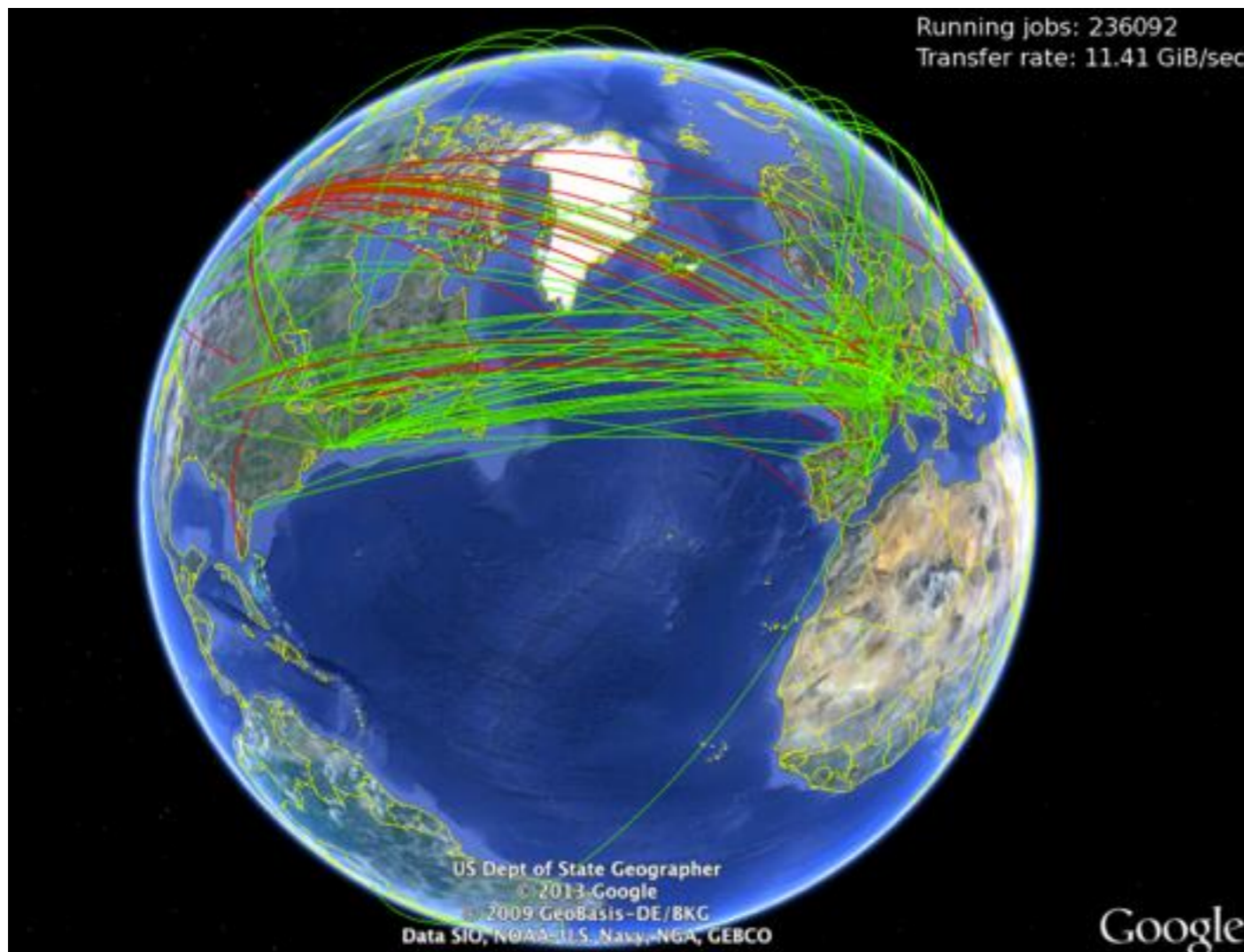


Näiden vaiheiden kautta syntyy simuloitua "dataa" joka näyttää aivan samalta kuin tallennettu törmäysdata, paitsi että simulaatiossa tiedämme "totuuden" tapahtumasta

*Varsinaisen törmäysdatan analyysin **lisäksi** törmäysten simulointi vaatii valtavasti laskentakapasiteettia! Onneksi molempia pystytään nopeuttamaan tekoälyn avulla...*



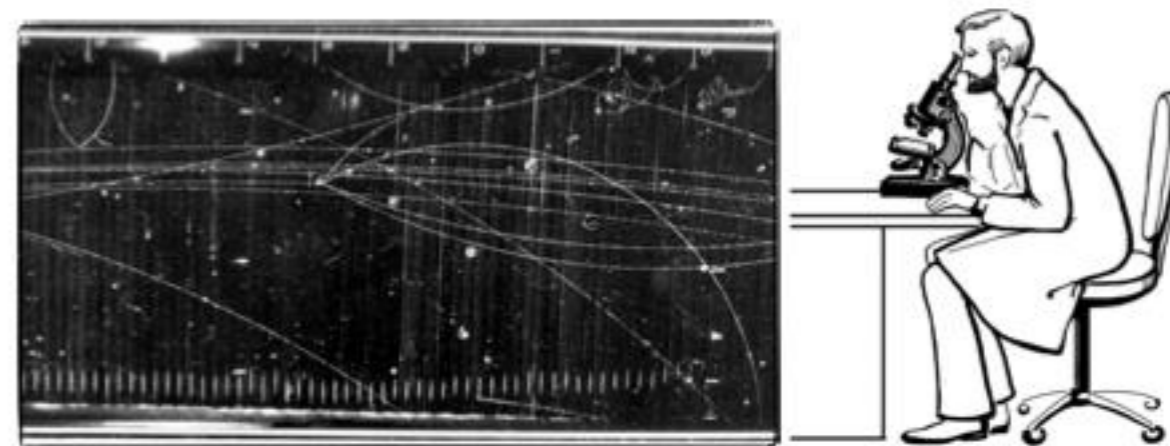
- Myös CERNin datan käsittely on jaettu maailmanlaajuisesti
- Kaikesta datasta yksi kopio CERNissä (Tier-0)
- Varmuuskopio jossain päin maailmaa (Tier-1)
- Analyysikopioita (Tier-2, Tier-3) jaettuna useille tietokonekeskuksille
 - Datan voi analysoida lähettämällä työn tietokonekeskukselle, jolla on kopio



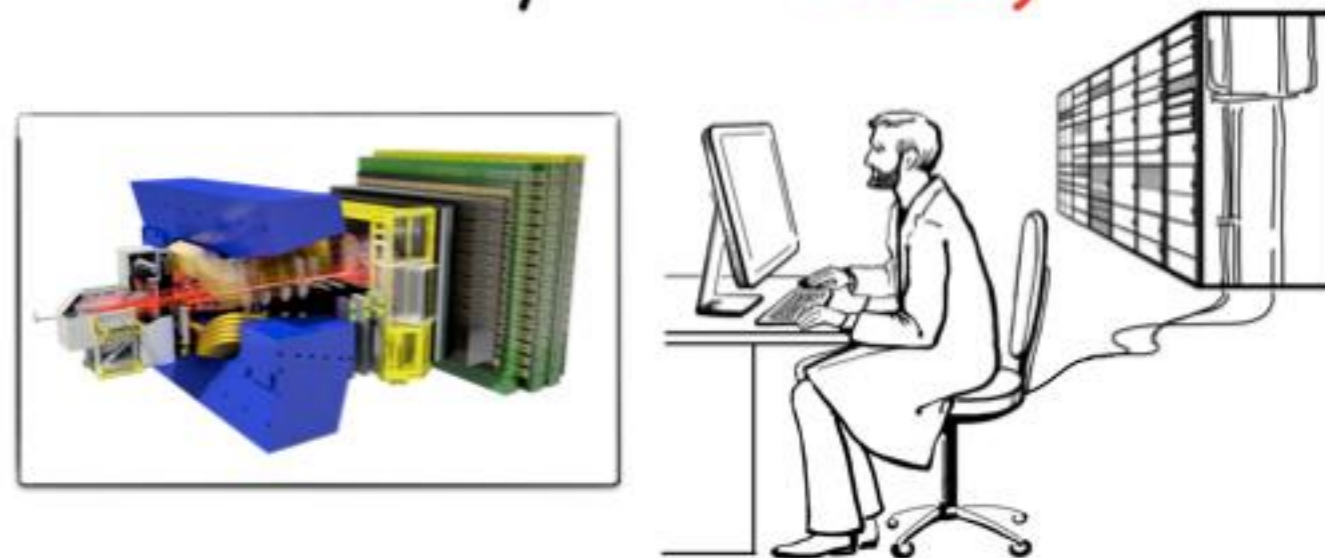
<http://wlcg.web.cern.ch/wlcg-google-earth-dashboard>

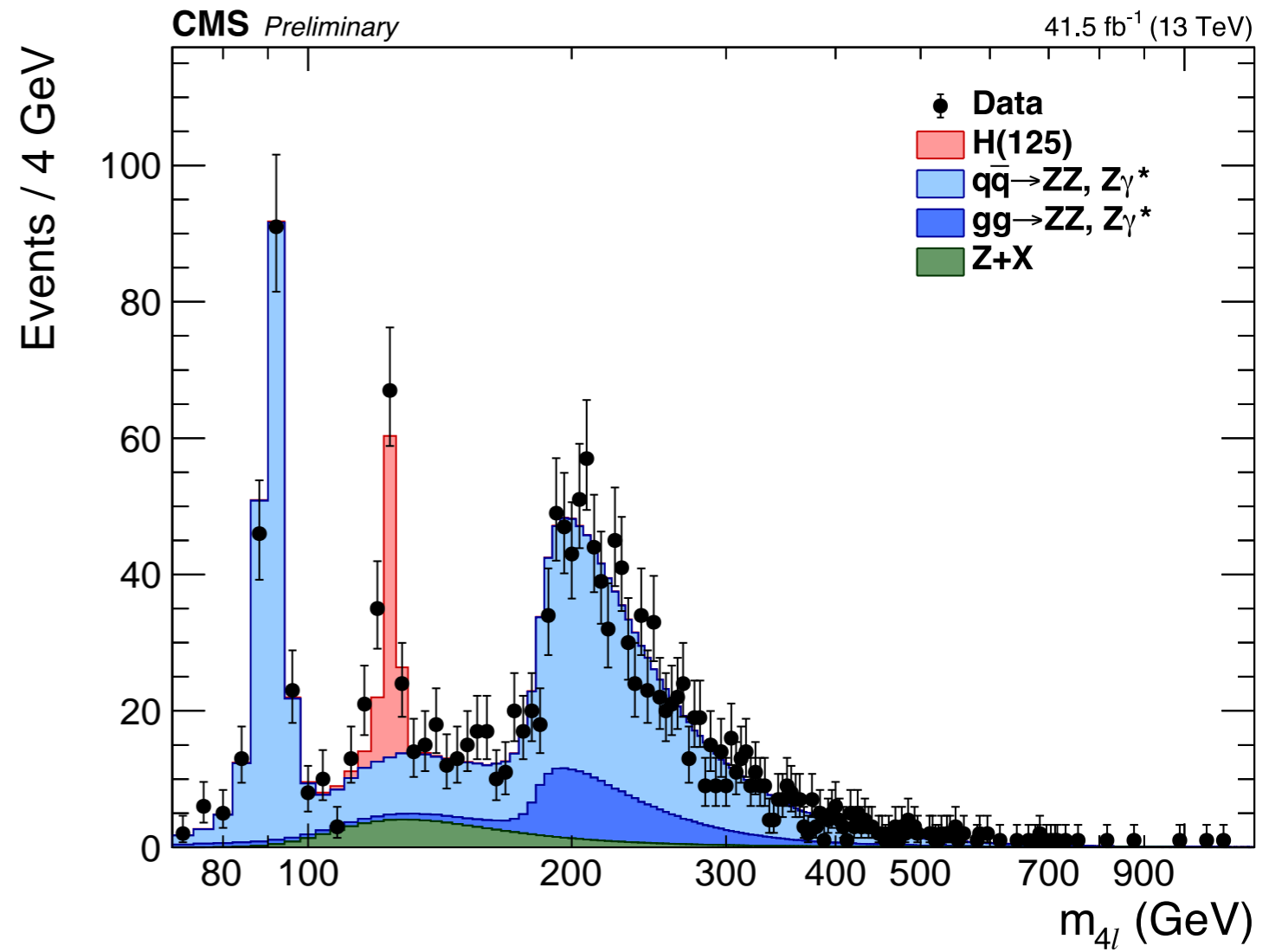
- Hiukkasfysiikan ja materiaalfysiikan lisäksi tarvitaan tilastotiedettä, tietojenkäsittelytiedettä, koneoppimista, matematiikkaa...

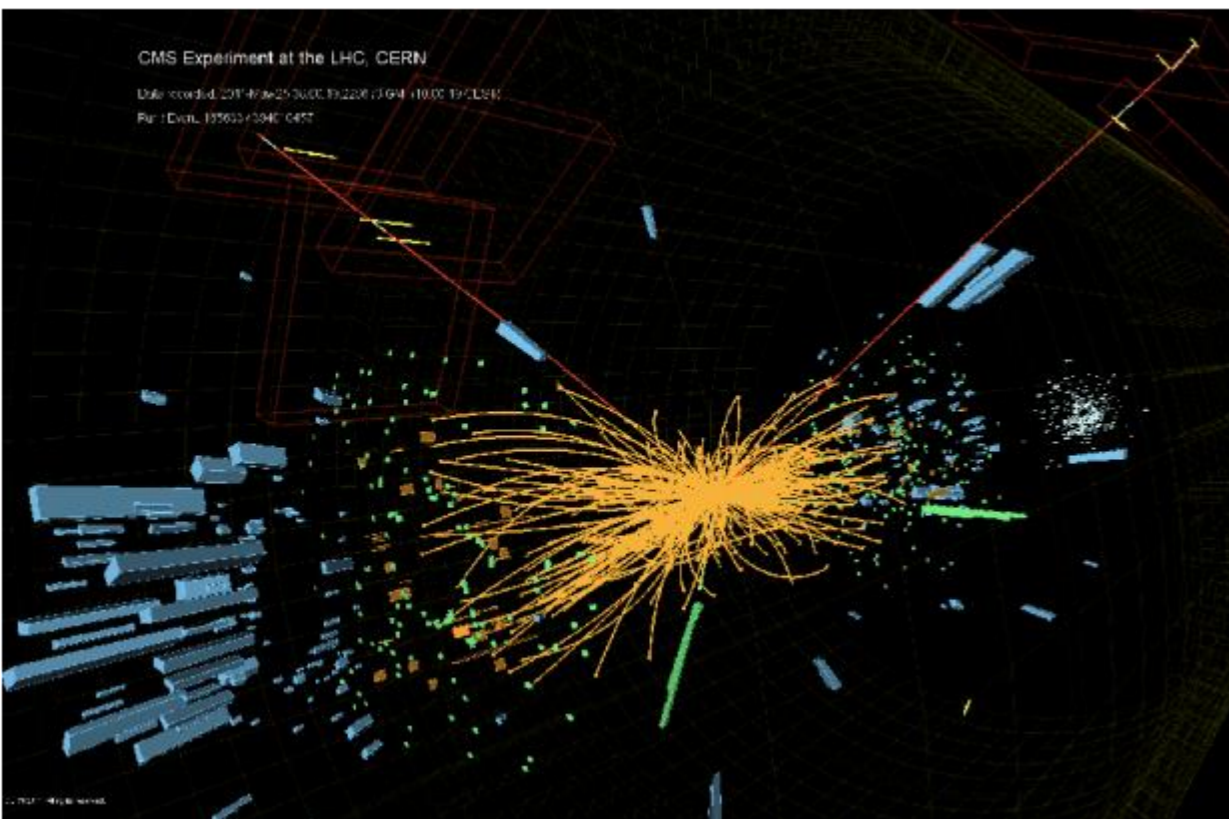
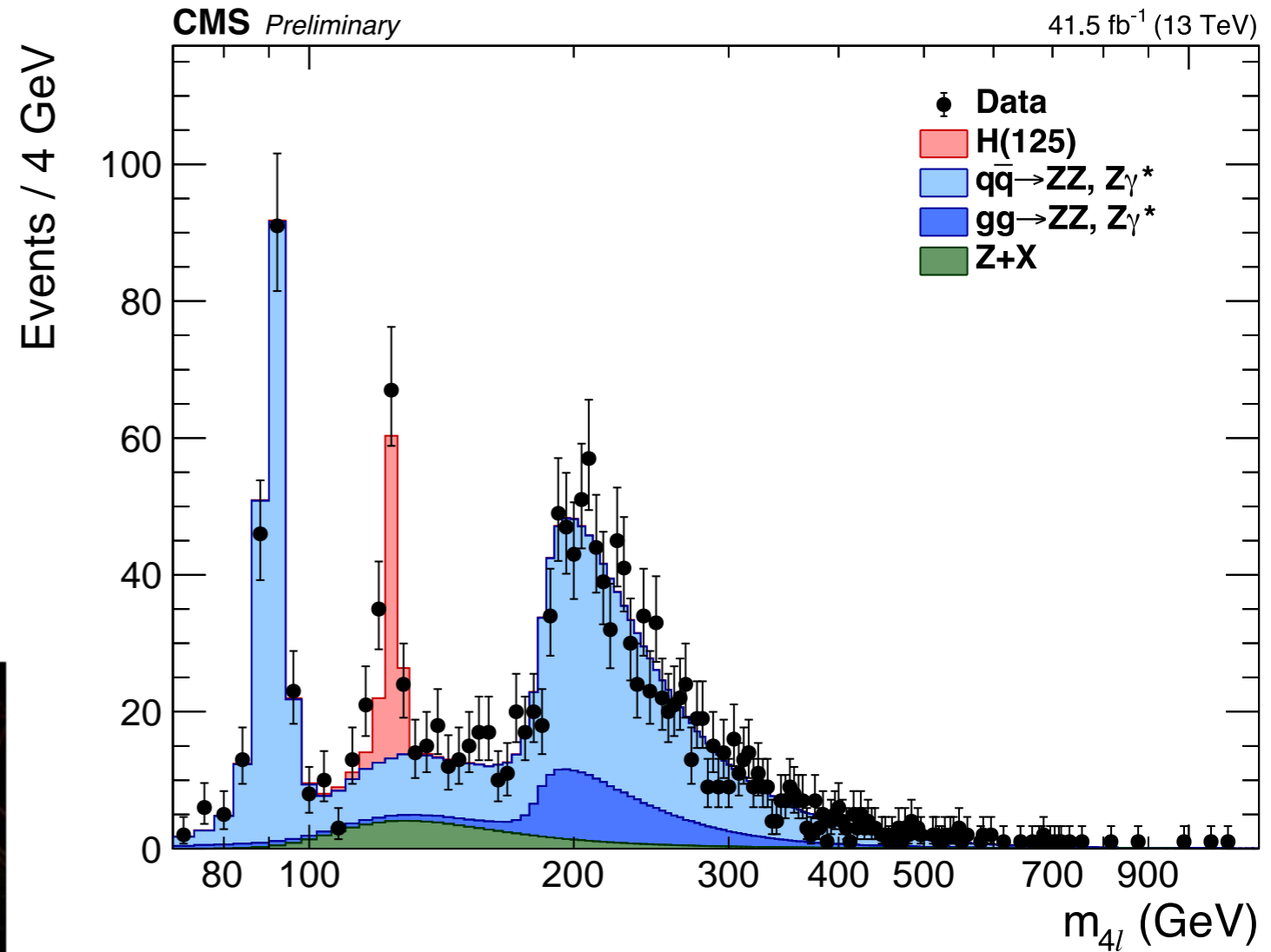
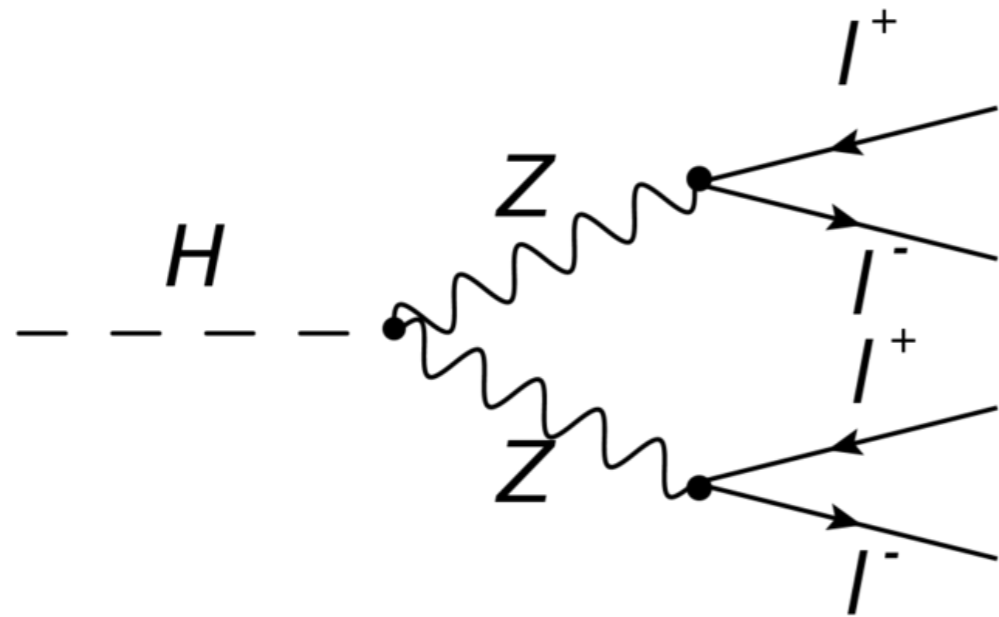
What is Physics? *Yesterday*



What is Physics? *Today*

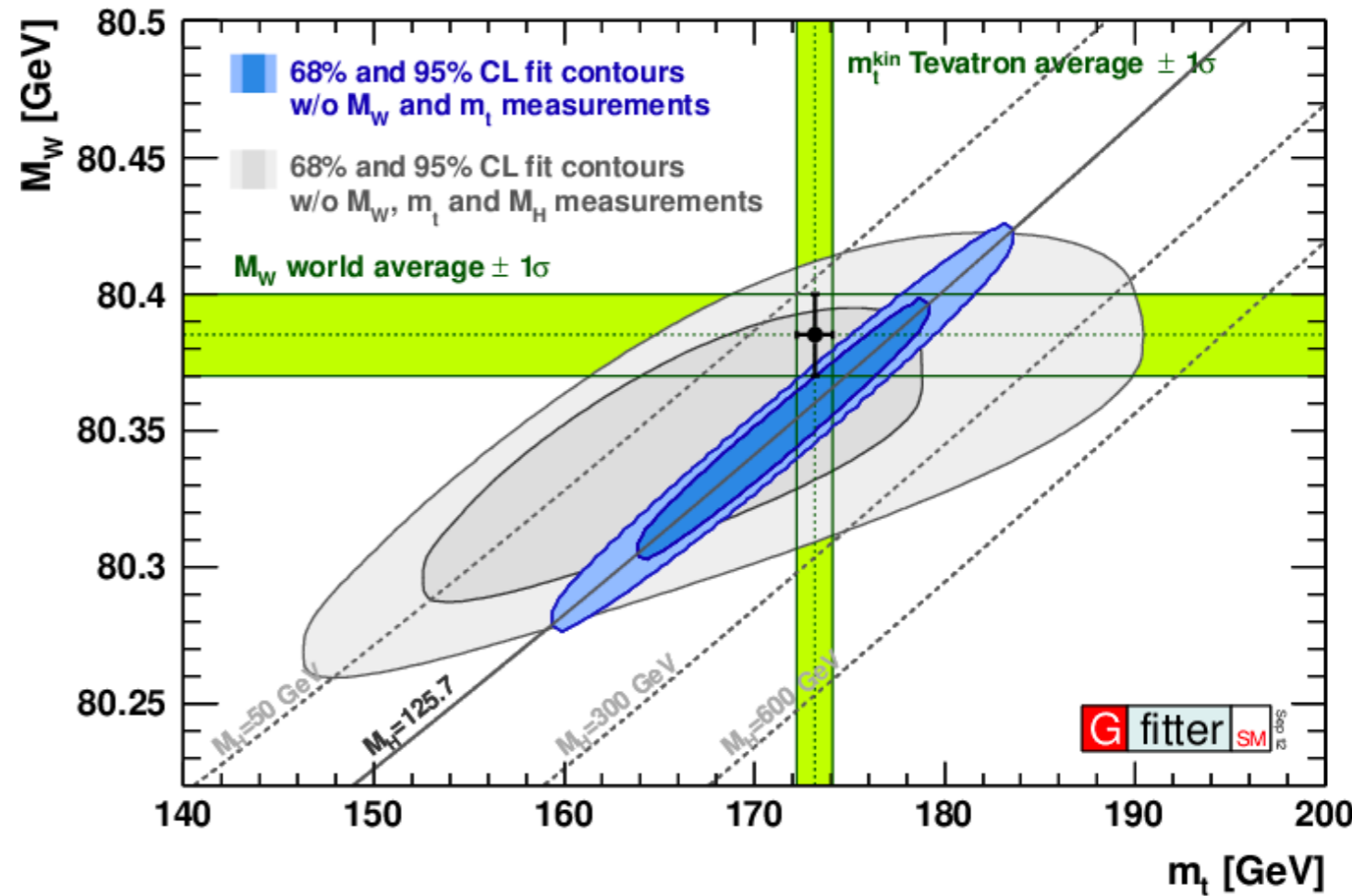






**Neljän leptonin systeemin
 ”invariantti massa”
 vastaa sen hiukkasen massaa
 josta leptonit ovat peräisin**

- Kaikkien LHC:n sadat mittaustulokset julkaistaan **artikkeleina** (vapaasti saatavilla)
- Lisäksi tarkat tulokset taulukoidaan **tietokantoihin** (esim. www.hepdata.net)
- Suuri määrä mittaustuloksia hiukkasista ja prosesseista jotka **on havaittu** sekä hypoteettisista hiukkasista ja prosesseista joita **ei ole havaittu** (ainakaan vielä), yrityksistä huolimatta



- Teoriaa voidaan verrata LHC:n mittaustuloksiin ohjelmistoilla jotka **sovittavat** teoriaennusteita suureen määrään tietokantojen datapisteitä
- Tiukka testi: uusien teoreettisten mallien pitäisi olla yhteensopivia kaikkien aiempien mittauksien – havaintojen sekä niiden puutteen – kanssa!

