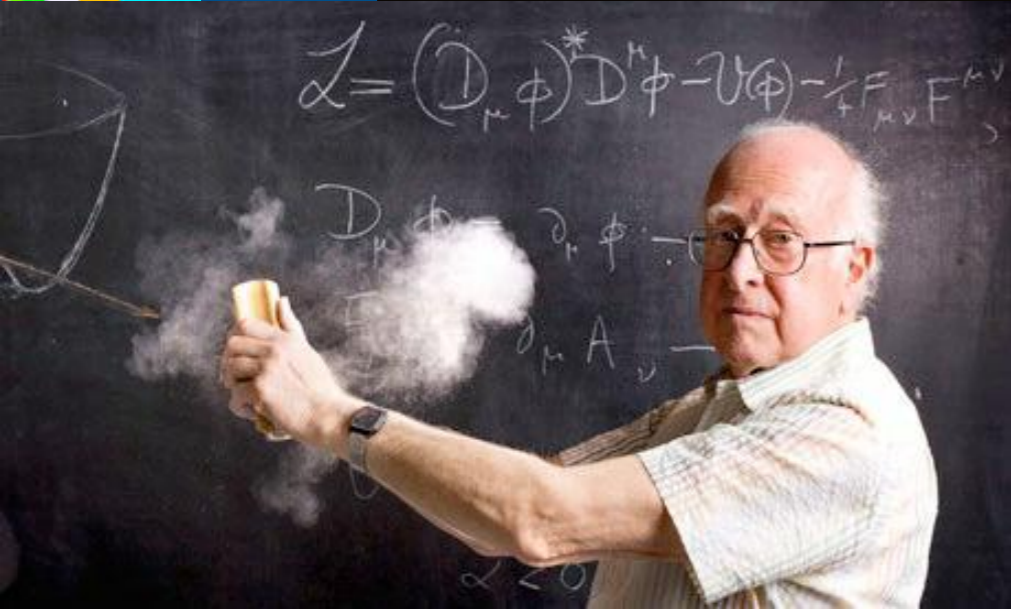
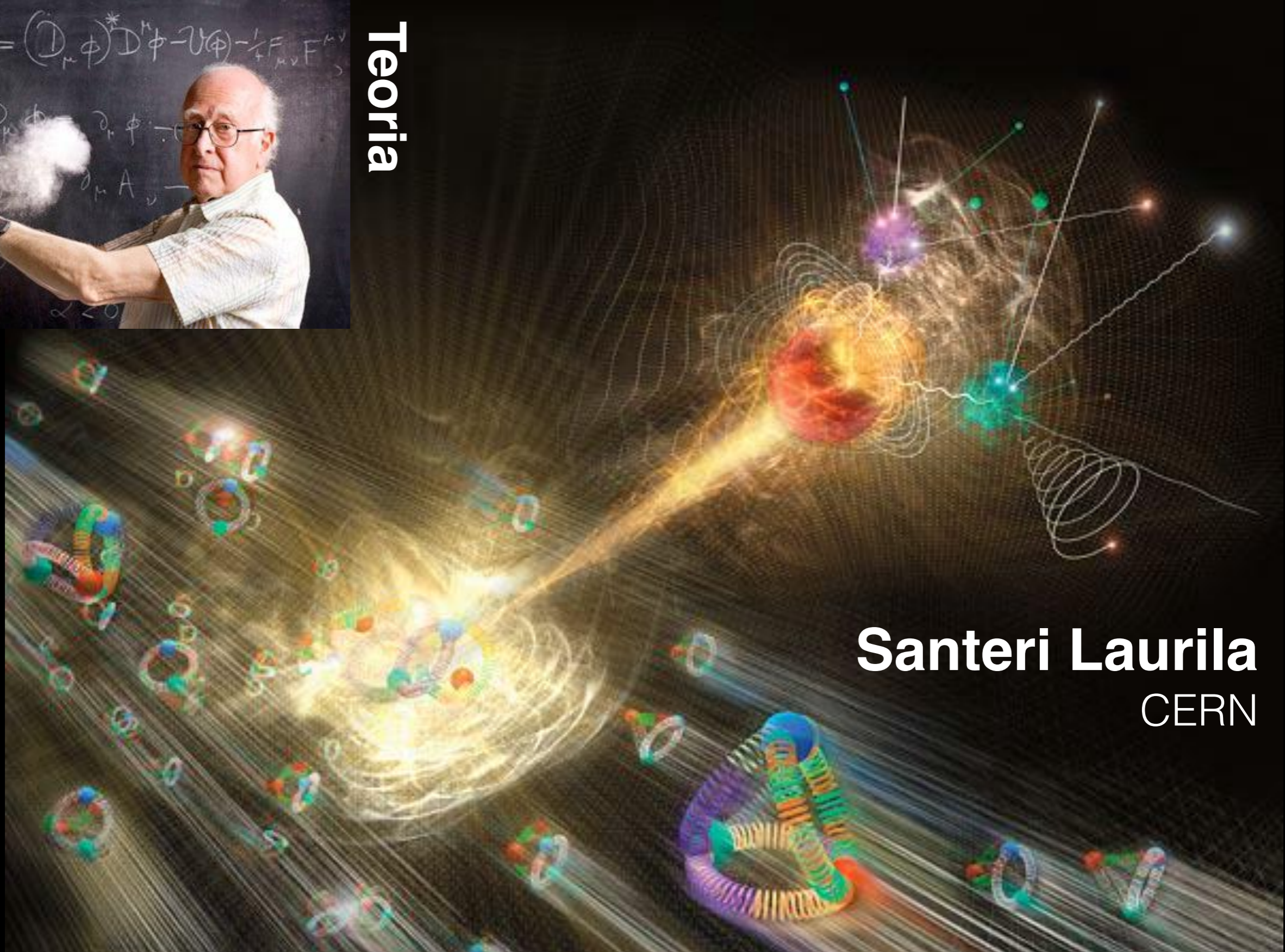




Teoriasta kokeisiin, kokeista teoriaksi



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?



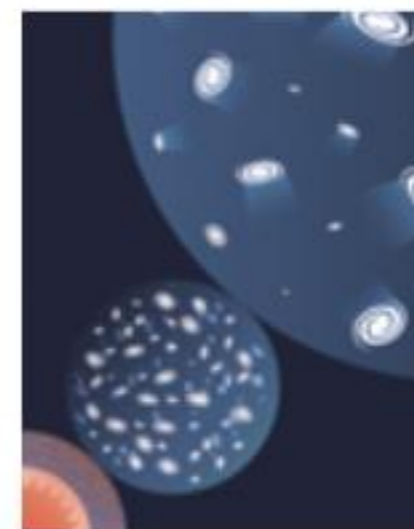
Higgs boson



Neutrino mass



Dark matter



Cosmic acceleration

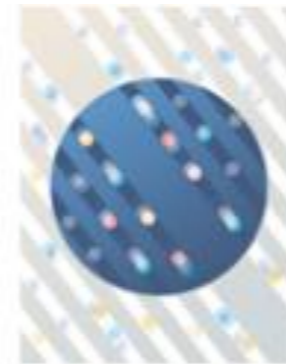


Explore the unknown

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



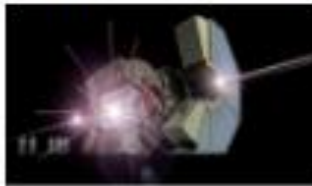
X

(X)

X

X

High-precision experiments



X

X

Neutrino experiments



X

X

Direct searches



X

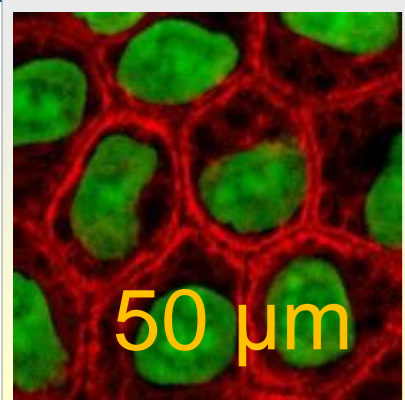
X

Cosmic surveys



X

X



Extra magnification?

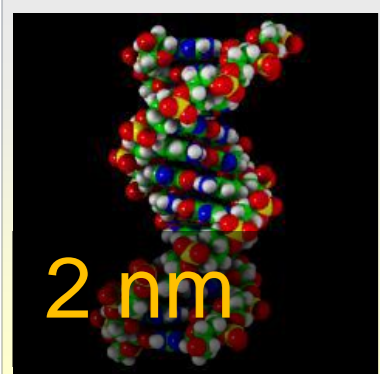
CELLS
Twenty per mm



Microscope

DeBroglie Wavelength

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

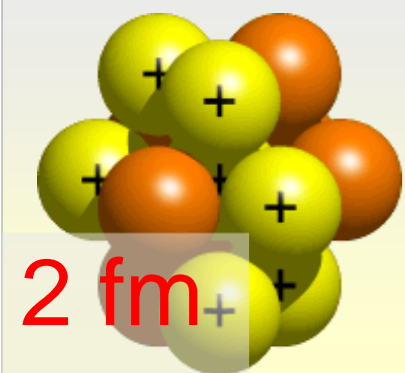


x 25 thousand

DNA
Five hundred thousand per mm



Electron microscope



x 1 million

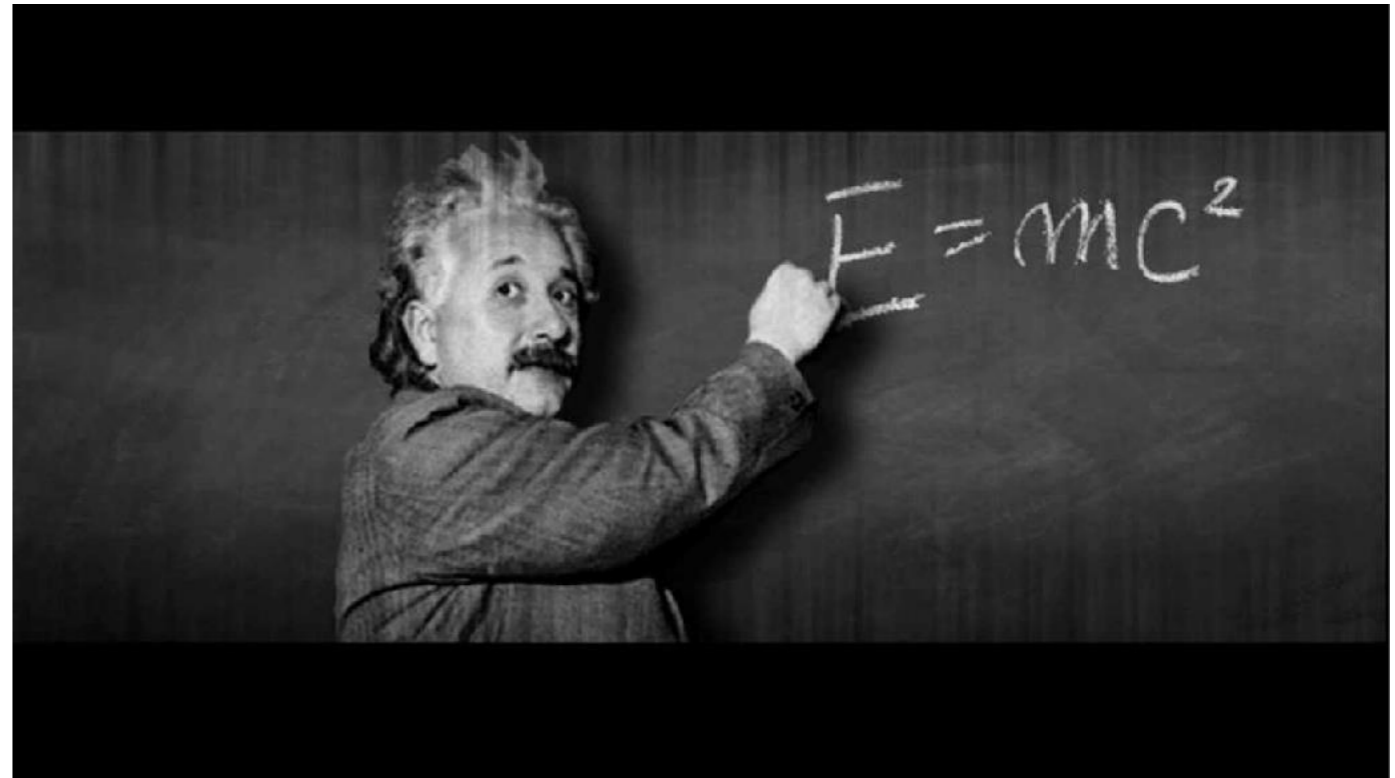
Nucleus
Five hundred billion per mm

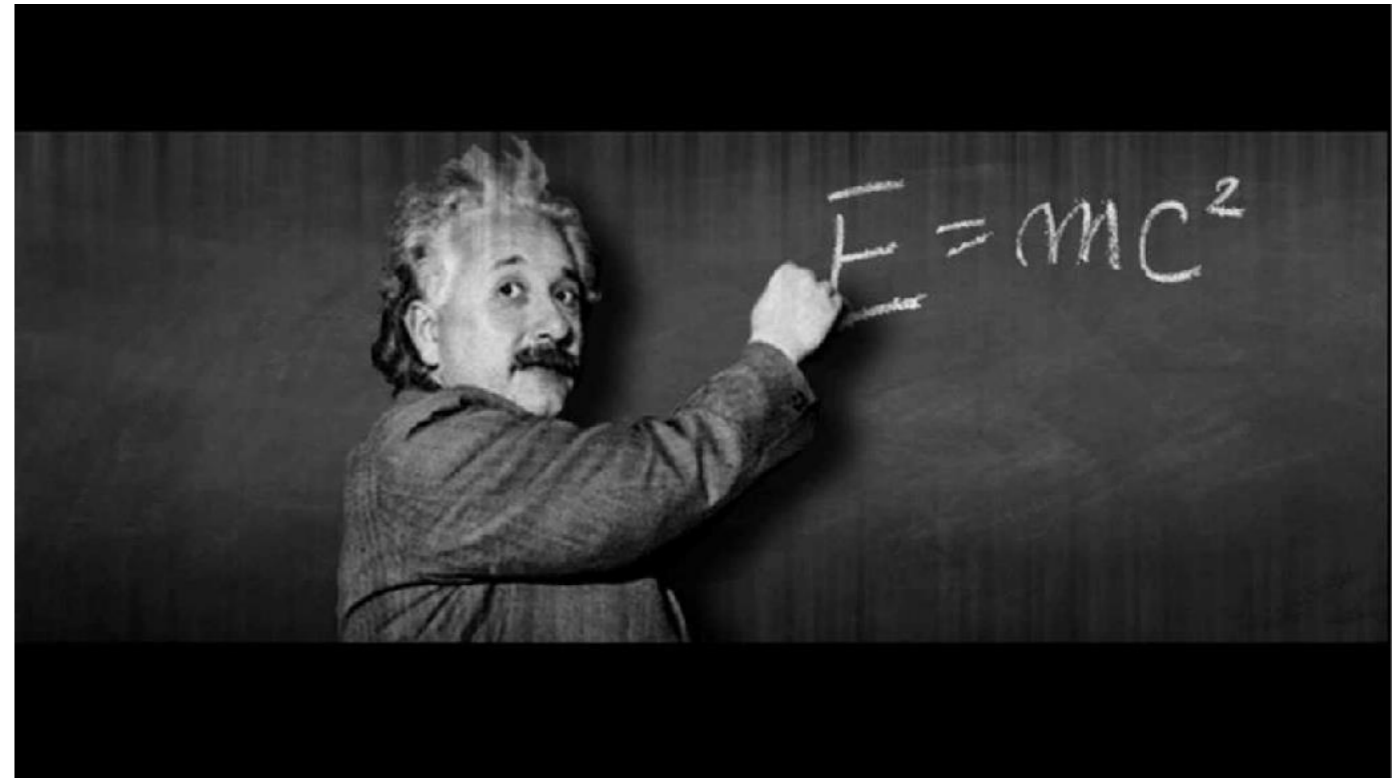
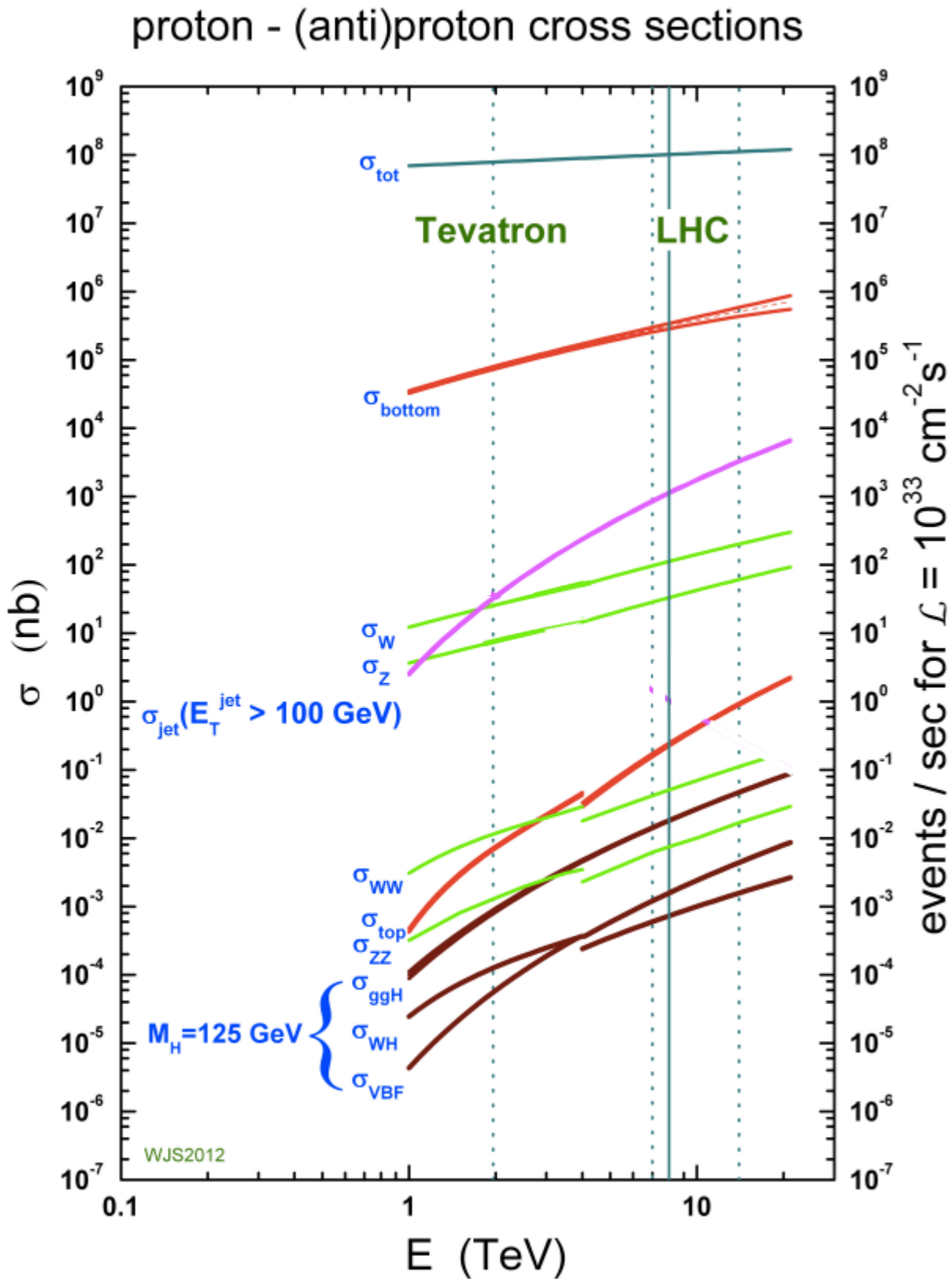
Particle Accelerators

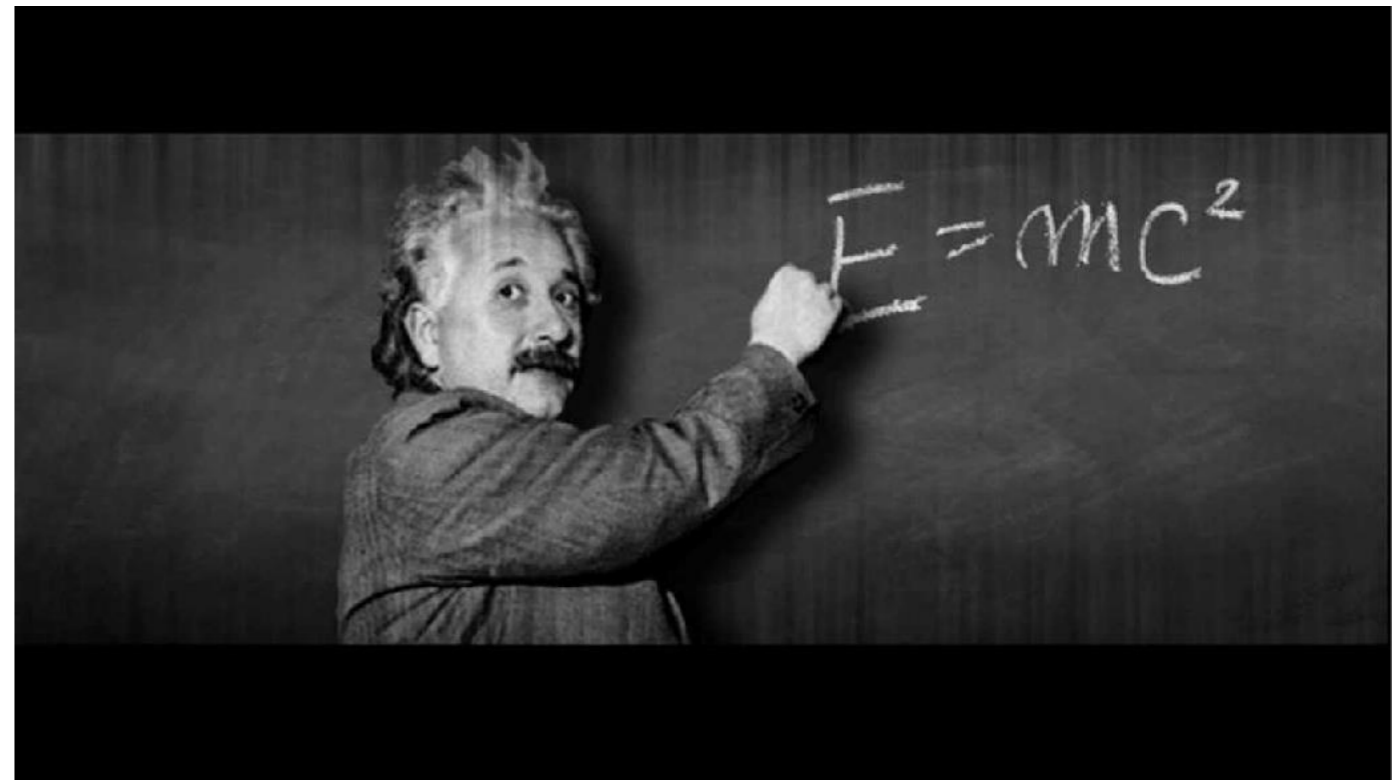
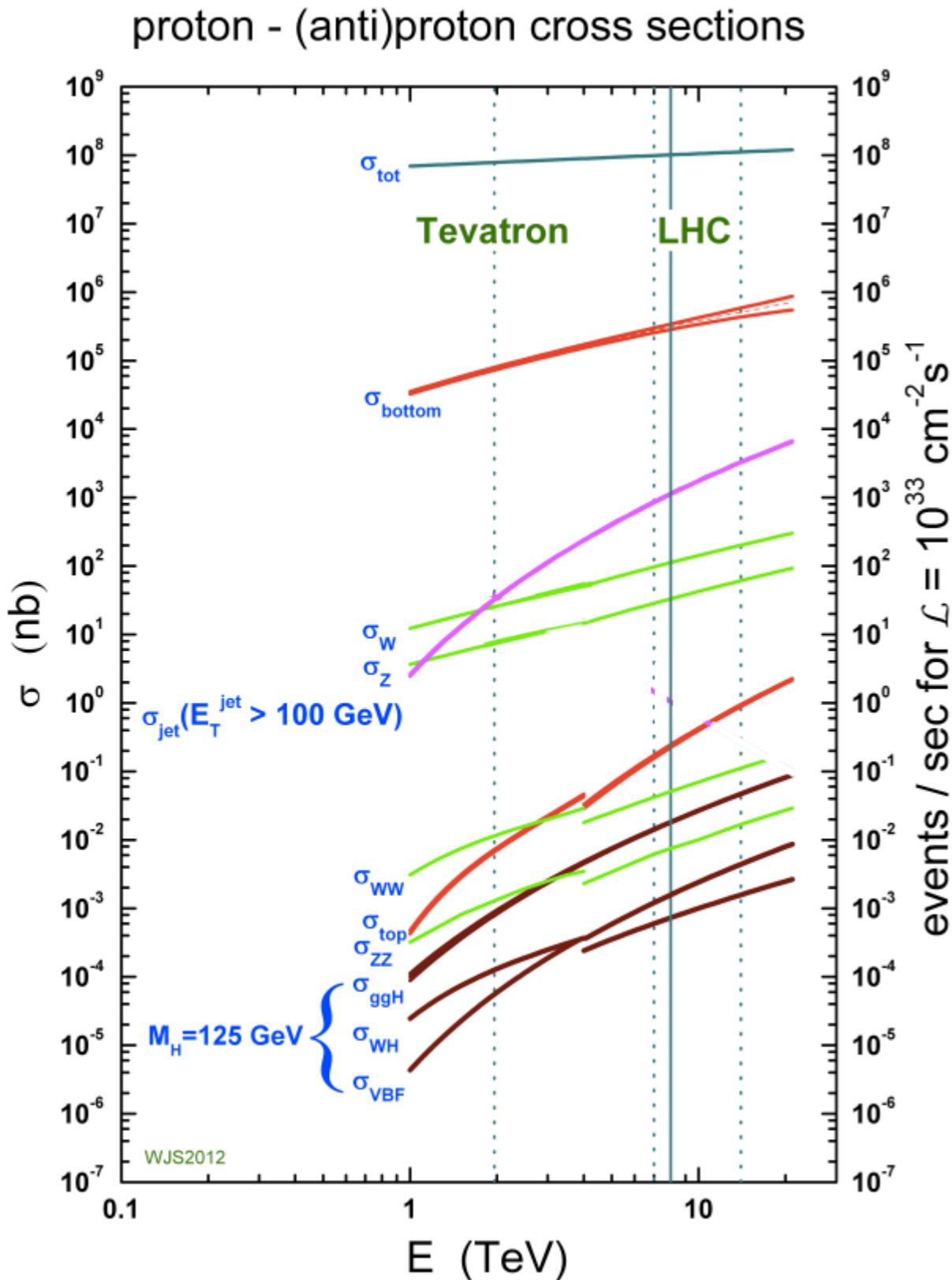


x 2 thousand

Quarks
More than one million billion per mm



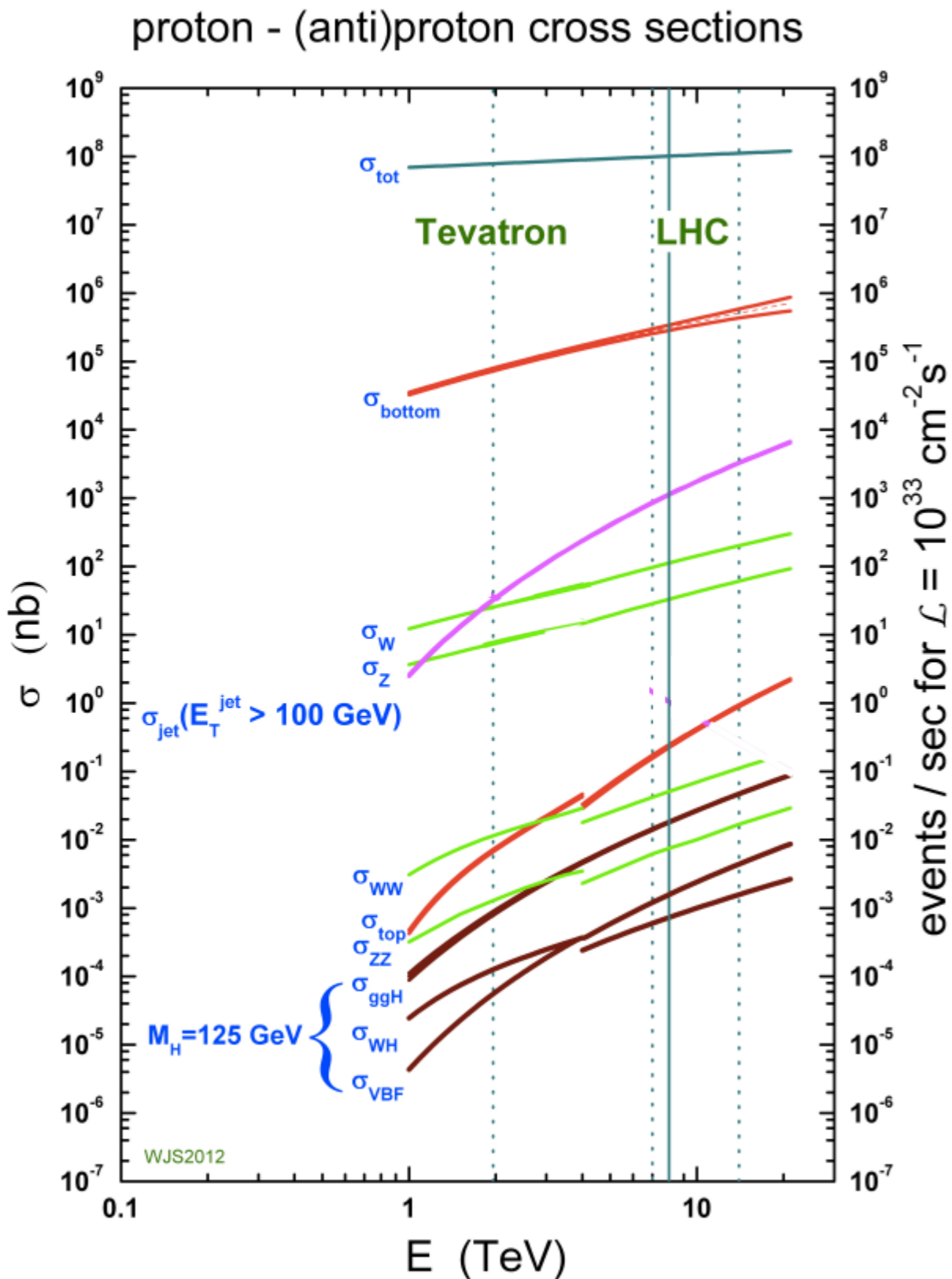




Hiukkastörmäyksissä protonien liike-energiaa muuttuu uusiksi, harvinaisemmiksi hiukkasiksi

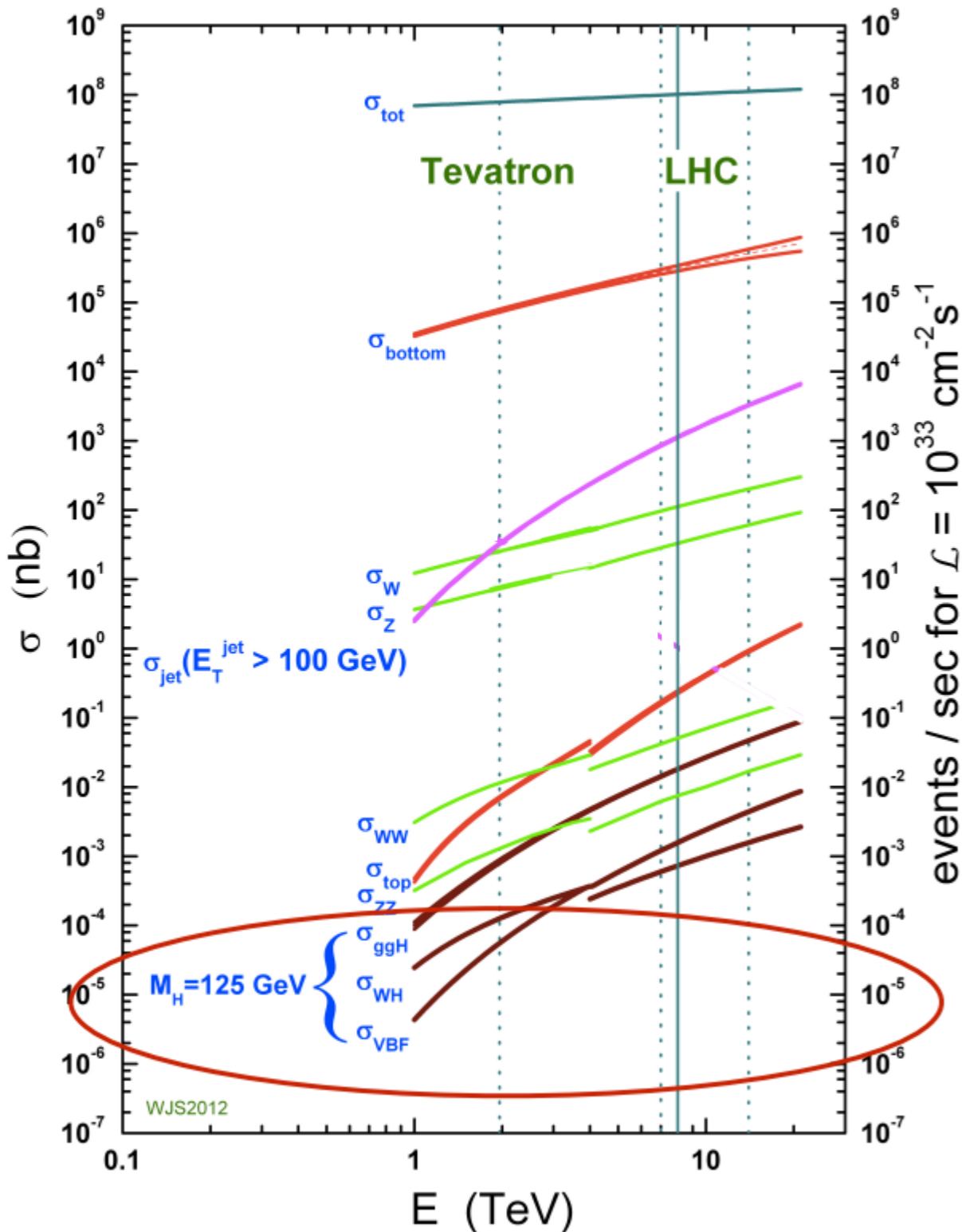
Uusia hiukkasia voi syntyä monenlaisia ja erilaisten prosessien kautta – kvanttifysiikkaa: voimme ennustaa vain **todennäköisyyksiä**

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

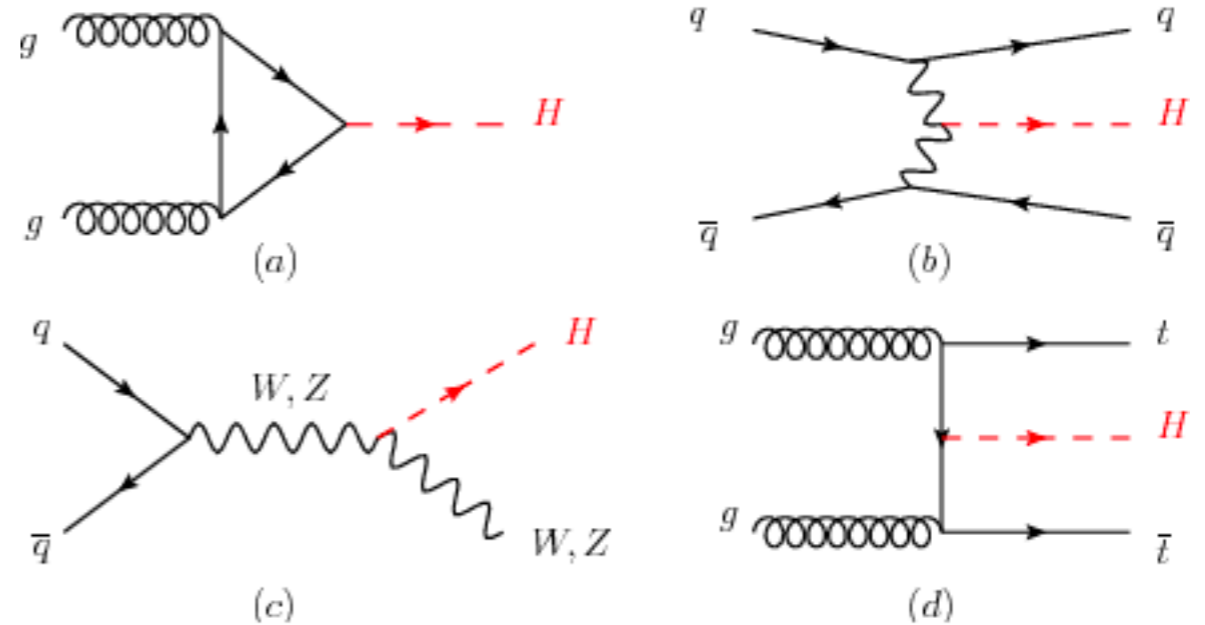


Tuottoprosessit eli miten protoneissa olevat kvarkit tai gluonit voivat törmätessään synnyttää uusia hiukkasia

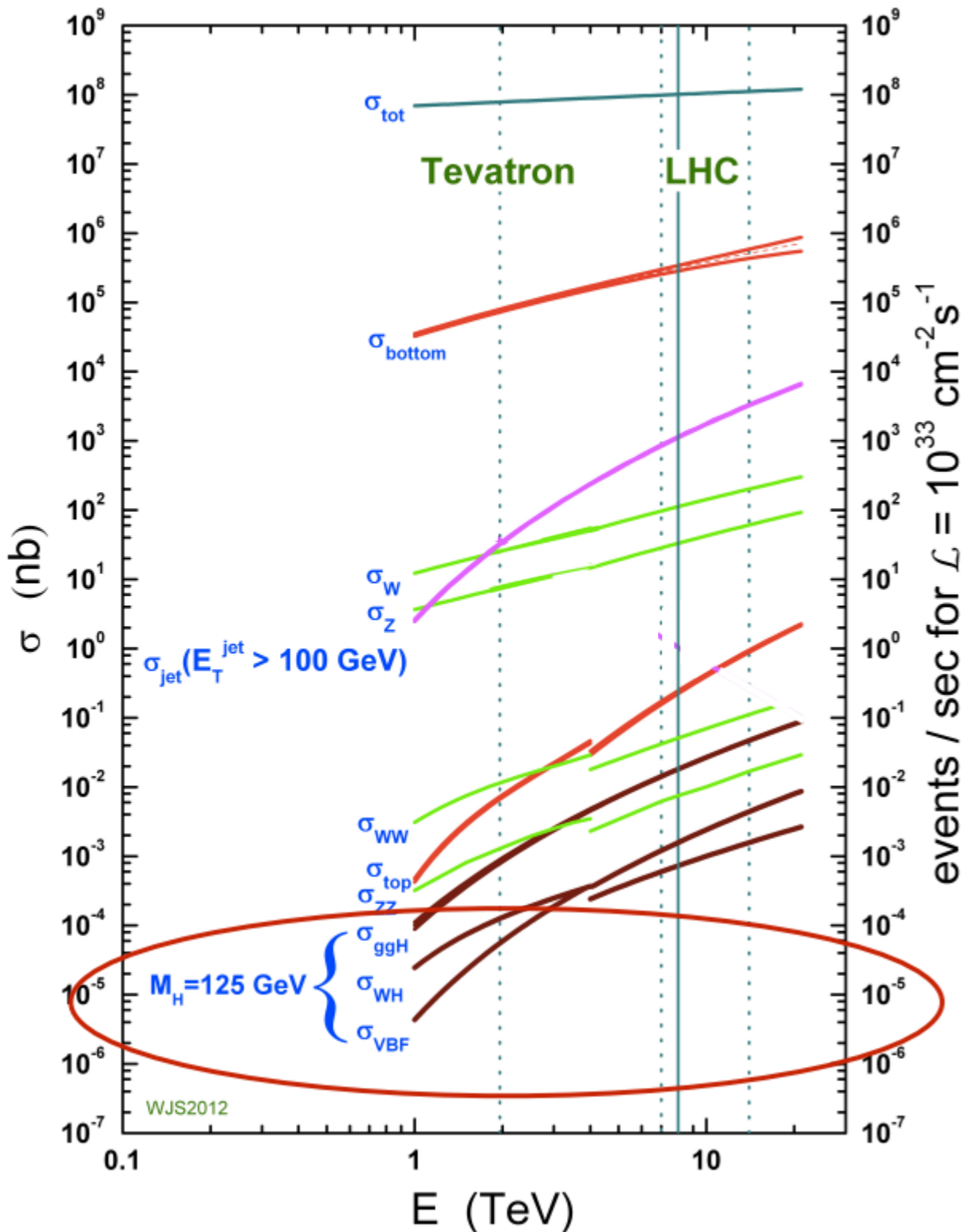
proton - (anti)proton cross sections



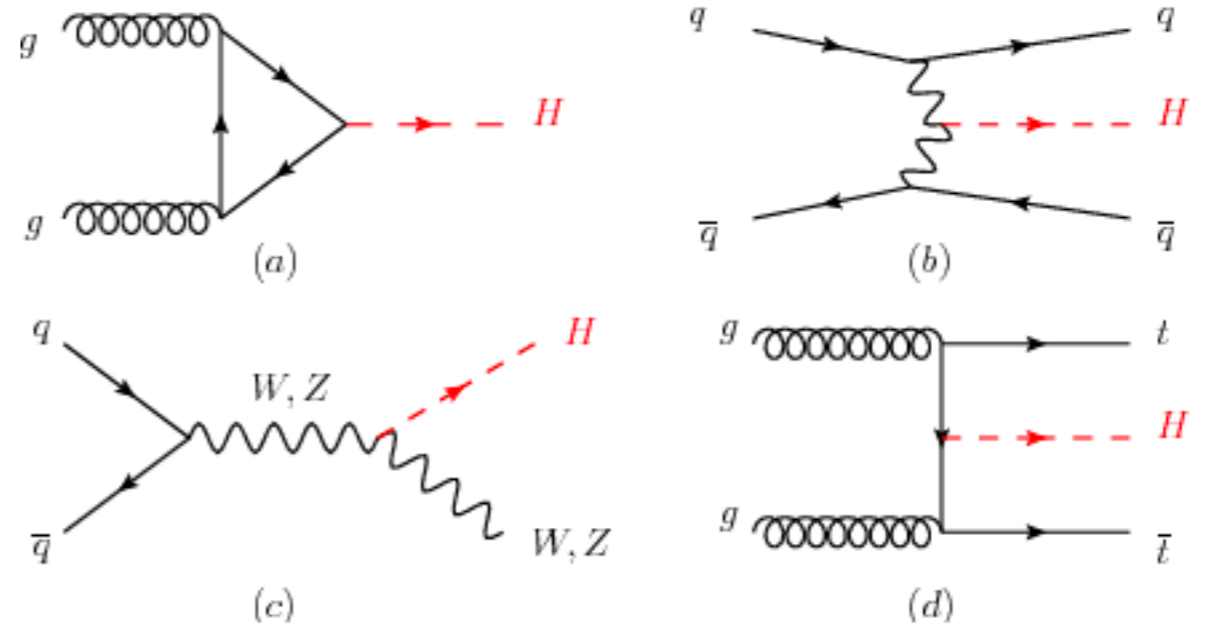
Tuottoprosessit eli miten protoneissa olevat kvarkit tai gluonit voivat törmätessään synnyttää uusia hiukkasia



proton - (anti)proton cross sections

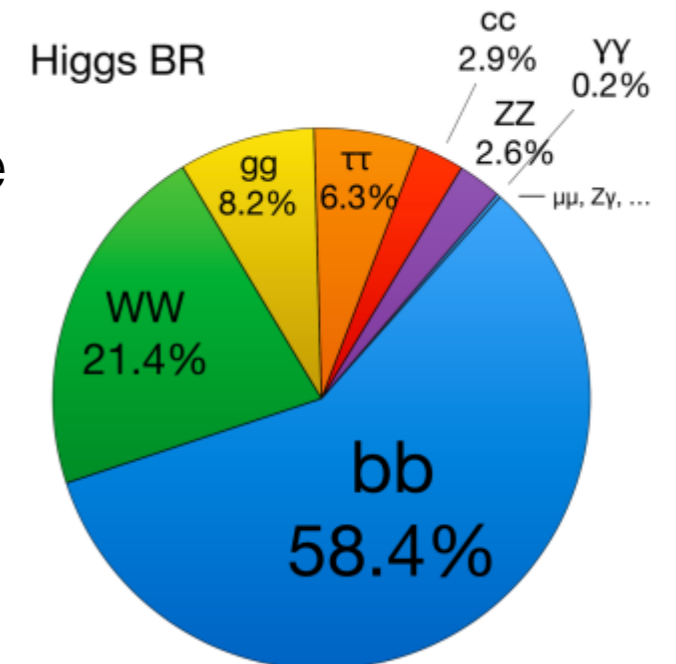


Tuottoprosessit eli miten protoneissa olevat kvarkit tai gluonit voivat törmätessään synnyttää uusia hiukkasia



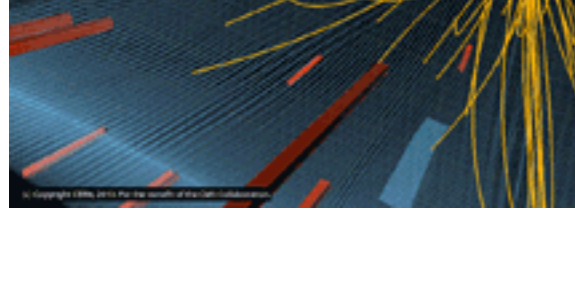
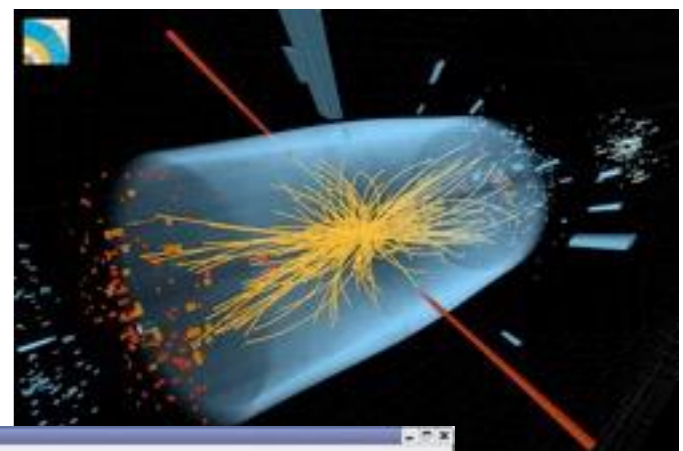
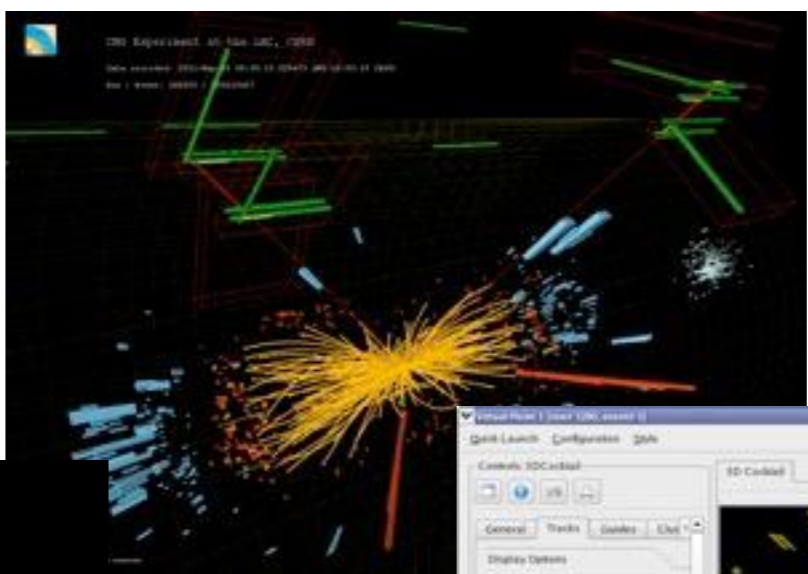
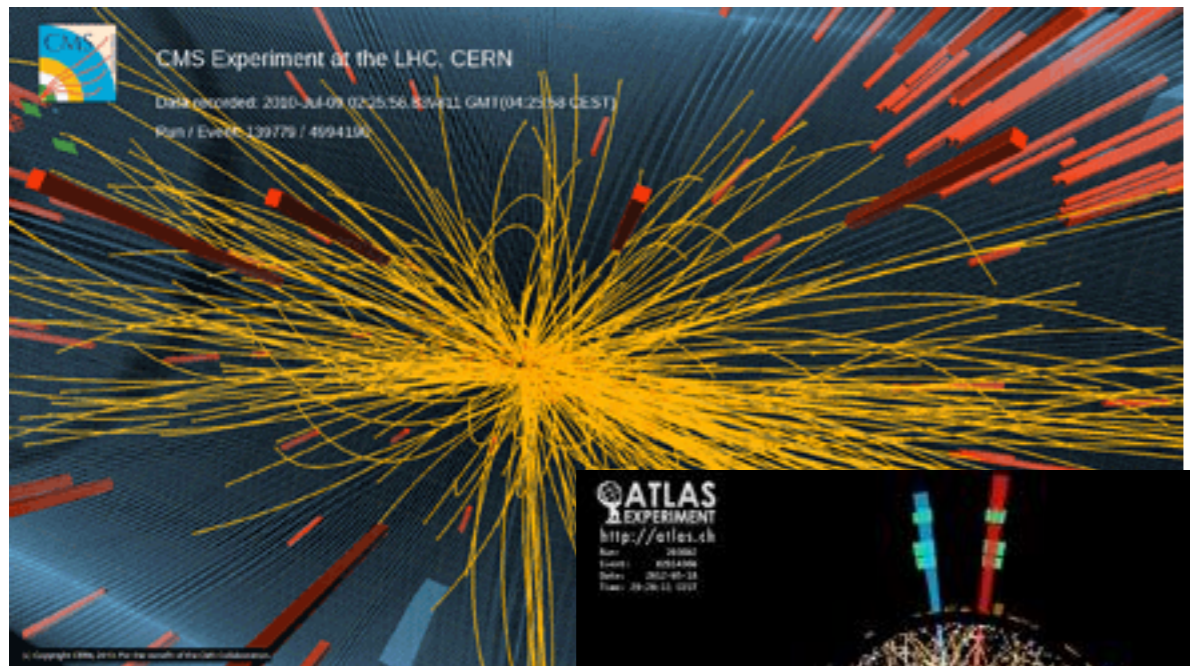
Hajoamisprosessit
lyhytikäisille hiukkasille (esim. Higgsin bosoni)

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

3D Control

General: Tracks, Guides, Grid

Display Options

Color

General color

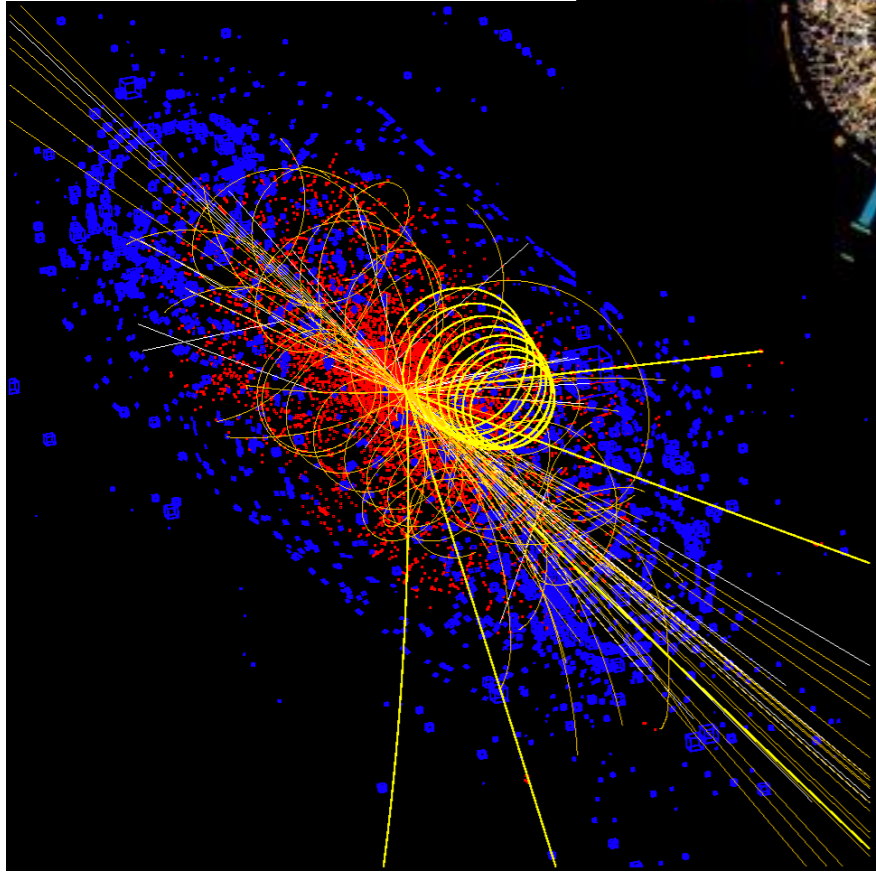
Min Pt: 2.00 GeV
Max Pt: 200.00 GeV

Min Size: 1.00
Max Size: 1.00

Min Length: 1.00

Legend:

- Electrons
- Photons
- Positrons
- Neutrinos
- Other neutrals
- Muons
- Kaons
- Resonances
- Protons
- Other charged



HT trigger

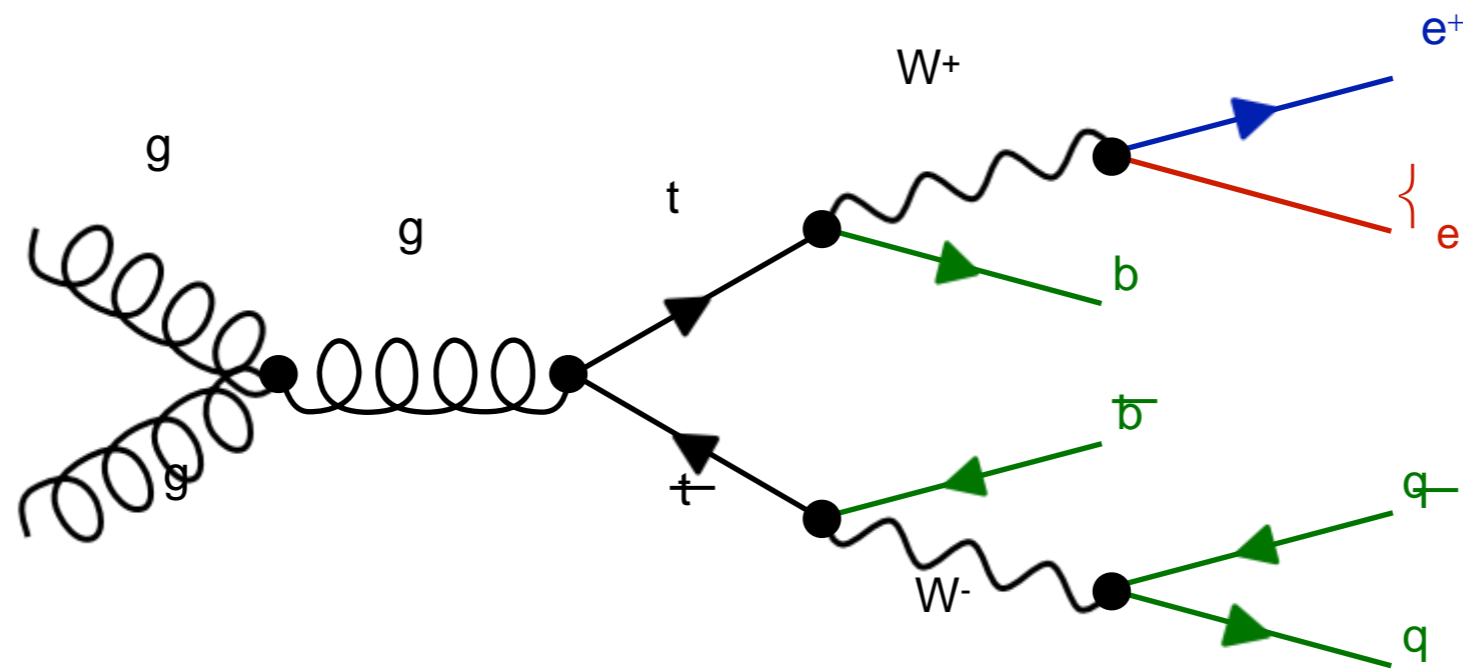
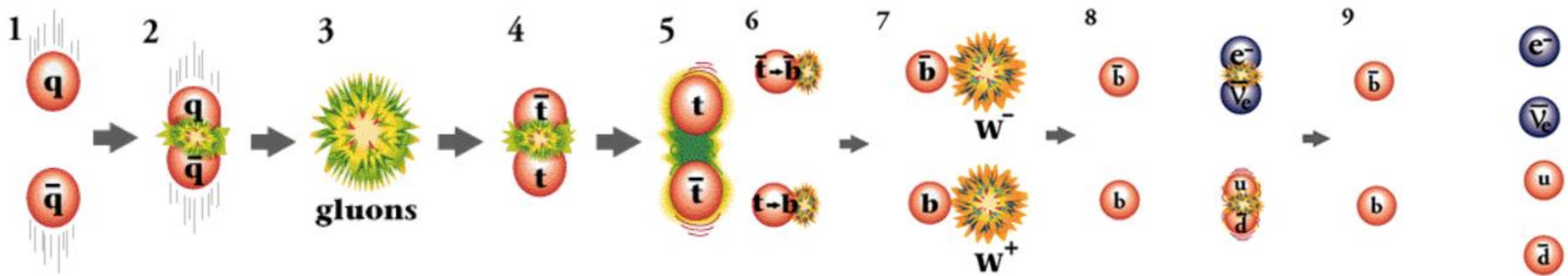
- HT_Accel_E
- HT_E1Em1
- HT_E1Em2
- HT_E1Em3
- HT_E1Em4
- HT_E1Em5
- HT_E1Em6
- HT_E1Em7
- HT_E1Em8
- HT_E1Em9
- HT_E1Em10
- HT_E1Em11
- HT_E1Em12
- HT_E1Em13
- HT_E1Em14
- HT_E1Em15
- HT_E1Em16
- HT_E1Em17
- HT_E1Em18
- HT_E1Em19
- HT_E1Em20
- HT_E1Em21
- HT_E1Em22
- HT_E1Em23
- HT_E1Em24
- HT_E1Em25
- HT_E1Em26
- HT_E1Em27
- HT_E1Em28
- HT_E1Em29
- HT_E1Em30
- HT_E1Em31
- HT_E1Em32
- HT_E1Em33
- HT_E1Em34
- HT_E1Em35
- HT_E1Em36
- HT_E1Em37
- HT_E1Em38
- HT_E1Em39
- HT_E1Em40
- HT_E1Em41
- HT_E1Em42
- HT_E1Em43
- HT_E1Em44
- HT_E1Em45
- HT_E1Em46
- HT_E1Em47
- HT_E1Em48
- HT_E1Em49
- HT_E1Em50
- HT_E1Em51
- HT_E1Em52
- HT_E1Em53
- HT_E1Em54
- HT_E1Em55
- HT_E1Em56
- HT_E1Em57
- HT_E1Em58
- HT_E1Em59
- HT_E1Em60
- HT_E1Em61
- HT_E1Em62
- HT_E1Em63
- HT_E1Em64
- HT_E1Em65
- HT_E1Em66
- HT_E1Em67
- HT_E1Em68
- HT_E1Em69
- HT_E1Em70
- HT_E1Em71
- HT_E1Em72
- HT_E1Em73
- HT_E1Em74
- HT_E1Em75
- HT_E1Em76
- HT_E1Em77
- HT_E1Em78
- HT_E1Em79
- HT_E1Em80
- HT_E1Em81
- HT_E1Em82
- HT_E1Em83
- HT_E1Em84
- HT_E1Em85
- HT_E1Em86
- HT_E1Em87
- HT_E1Em88
- HT_E1Em89
- HT_E1Em90
- HT_E1Em91
- HT_E1Em92
- HT_E1Em93
- HT_E1Em94
- HT_E1Em95
- HT_E1Em96
- HT_E1Em97
- HT_E1Em98
- HT_E1Em99
- HT_E1Em100

Track ID	Energy (GeV)	Direction
1	1.00	1.00
2	1.00	1.00
3	1.00	1.00
4	1.00	1.00
5	1.00	1.00
6	1.00	1.00
7	1.00	1.00
8	1.00	1.00
9	1.00	1.00
10	1.00	1.00
11	1.00	1.00
12	1.00	1.00
13	1.00	1.00
14	1.00	1.00
15	1.00	1.00
16	1.00	1.00
17	1.00	1.00
18	1.00	1.00
19	1.00	1.00
20	1.00	1.00
21	1.00	1.00
22	1.00	1.00
23	1.00	1.00
24	1.00	1.00
25	1.00	1.00
26	1.00	1.00
27	1.00	1.00
28	1.00	1.00
29	1.00	1.00
30	1.00	1.00
31	1.00	1.00
32	1.00	1.00
33	1.00	1.00
34	1.00	1.00
35	1.00	1.00
36	1.00	1.00
37	1.00	1.00
38	1.00	1.00
39	1.00	1.00
40	1.00	1.00
41	1.00	1.00
42	1.00	1.00
43	1.00	1.00
44	1.00	1.00
45	1.00	1.00
46	1.00	1.00
47	1.00	1.00
48	1.00	1.00
49	1.00	1.00
50	1.00	1.00
51	1.00	1.00
52	1.00	1.00
53	1.00	1.00
54	1.00	1.00
55	1.00	1.00
56	1.00	1.00
57	1.00	1.00
58	1.00	1.00
59	1.00	1.00
60	1.00	1.00
61	1.00	1.00
62	1.00	1.00
63	1.00	1.00
64	1.00	1.00
65	1.00	1.00
66	1.00	1.00
67	1.00	1.00
68	1.00	1.00
69	1.00	1.00
70	1.00	1.00
71	1.00	1.00
72	1.00	1.00
73	1.00	1.00
74	1.00	1.00
75	1.00	1.00
76	1.00	1.00
77	1.00	1.00
78	1.00	1.00
79	1.00	1.00
80	1.00	1.00
81	1.00	1.00
82	1.00	1.00
83	1.00	1.00
84	1.00	1.00
85	1.00	1.00
86	1.00	1.00
87	1.00	1.00
88	1.00	1.00
89	1.00	1.00
90	1.00	1.00
91	1.00	1.00
92	1.00	1.00
93	1.00	1.00
94	1.00	1.00
95	1.00	1.00
96	1.00	1.00
97	1.00	1.00
98	1.00	1.00
99	1.00	1.00
100	1.00	1.00

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

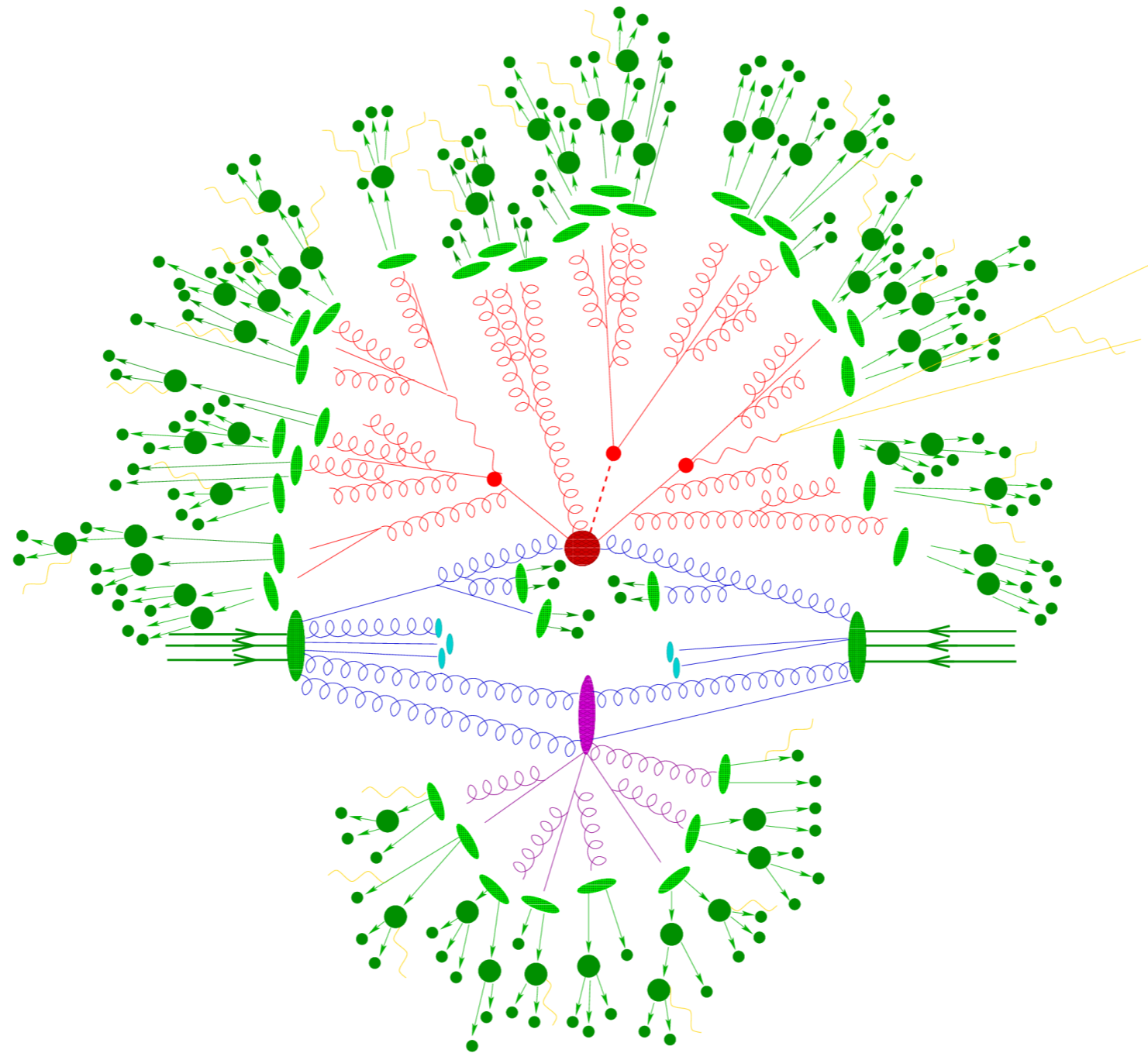
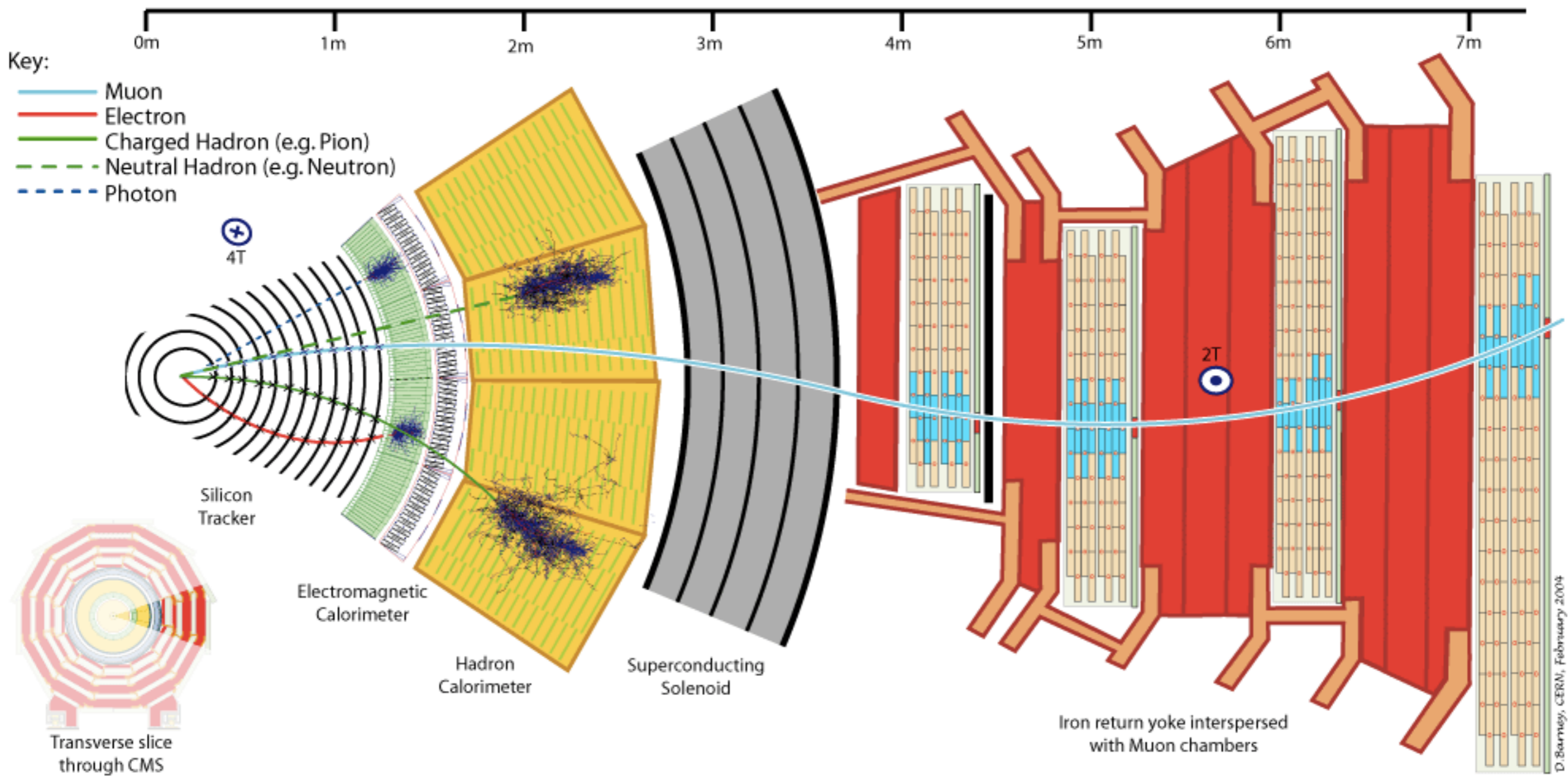


Figure 7.1: Sketch showing the different steps of simulation of a proton-proton collision with a Monte Carlo event generator. The red circle represents the hard interaction of two partons (blue lines), surrounded by red parton showers. The partons become



Vaihe 3: Detektorisimulaatio





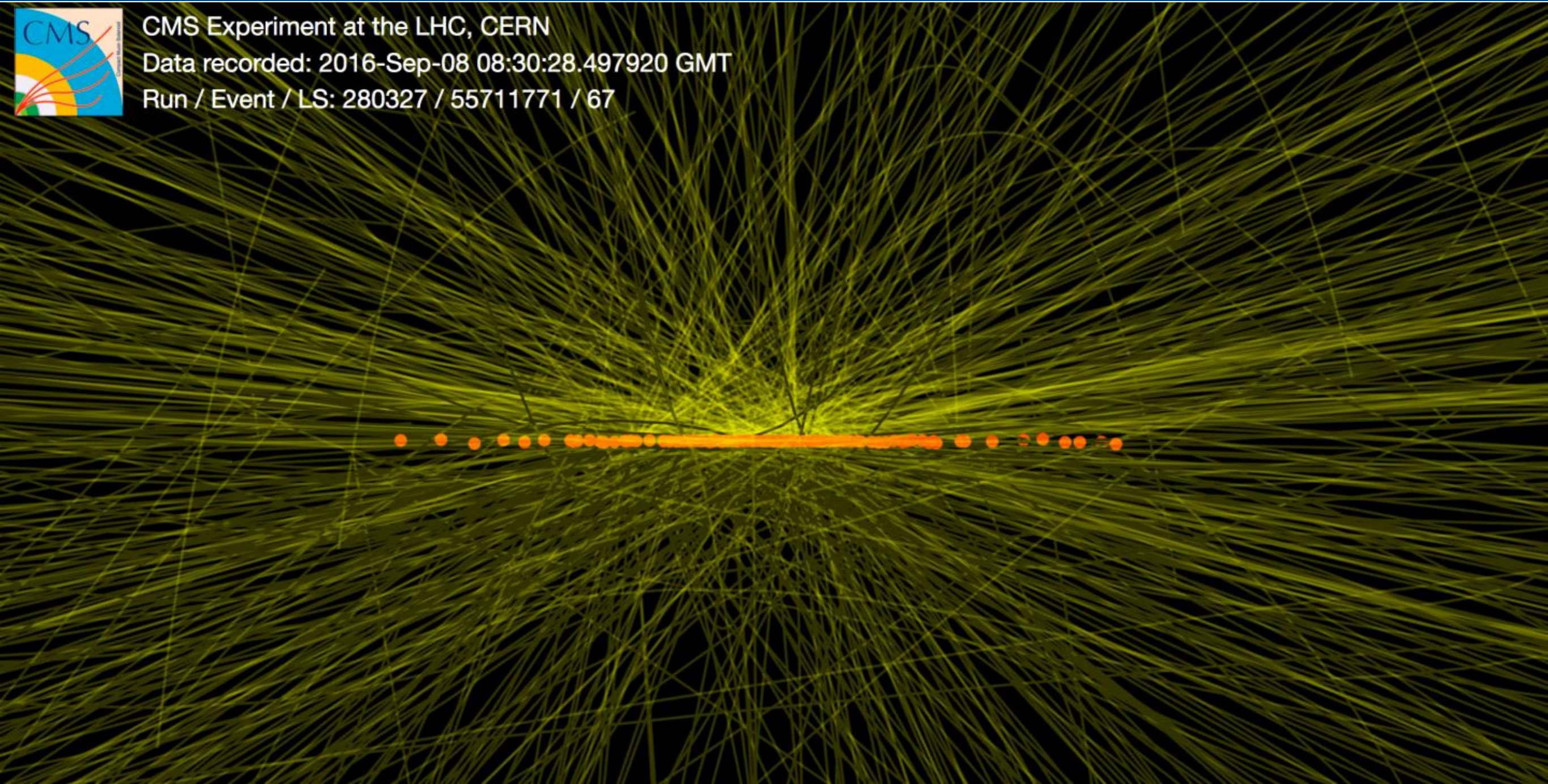
Vaihe 4: Lomittaiset törmäykset



CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run / Event / LS: 280327 / 55711771 / 67

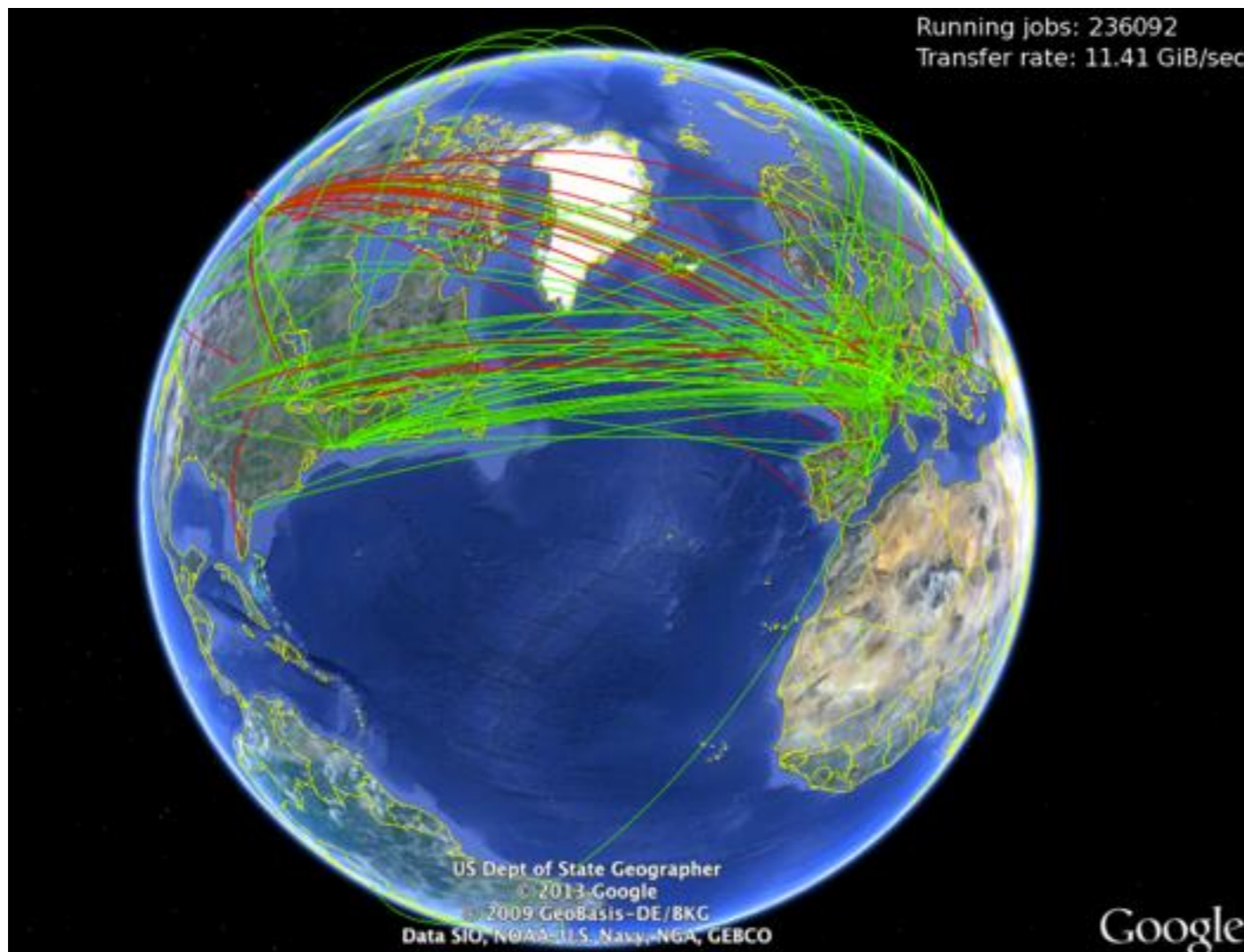


Näiden vaiheiden kautta syntyy simuloitua "dataa" joka näyttää aivan samalta kuin tallennettu törmäysdata, paitsi että simulaatiossa tiedämme "totuuden" tapahtumasta

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



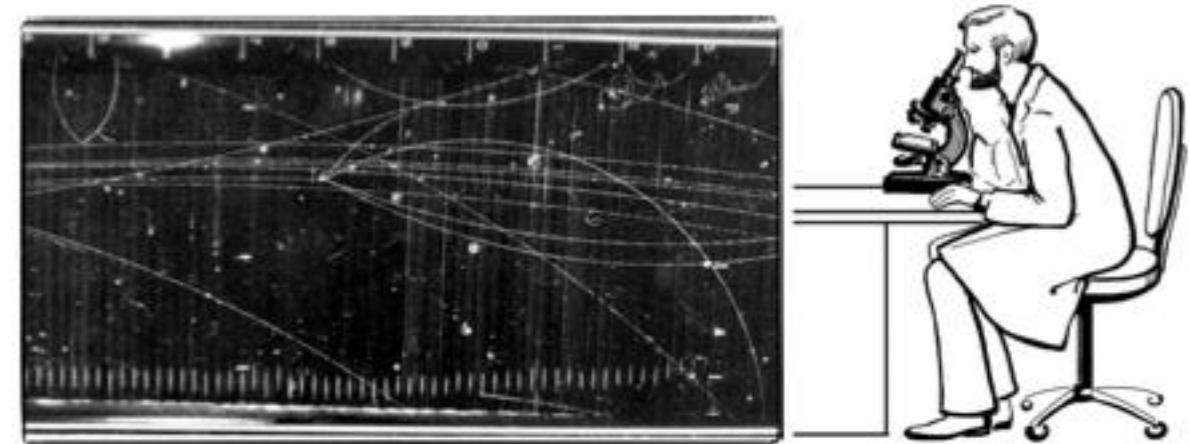
- Myös CERNin datan käsittely on jaettu maailmanlaajuisesti
- Kaikesta datasta yksi kopio CERNissä (Tier-0)
- Varmuuskopio jossain päin maailmaa (Tier-1)
- Analyysikopioita (Tier-2, Tier-3) jaettuna useille tietokonekeskuksille
 - Datan voi analysoida lähettämällä työn tietokonekeskukselle, jolla on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



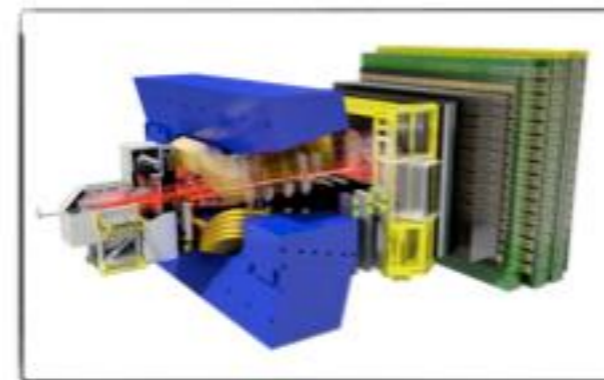
<http://wlcg.web.cern.ch/wlcg-google-earth-dashboard>

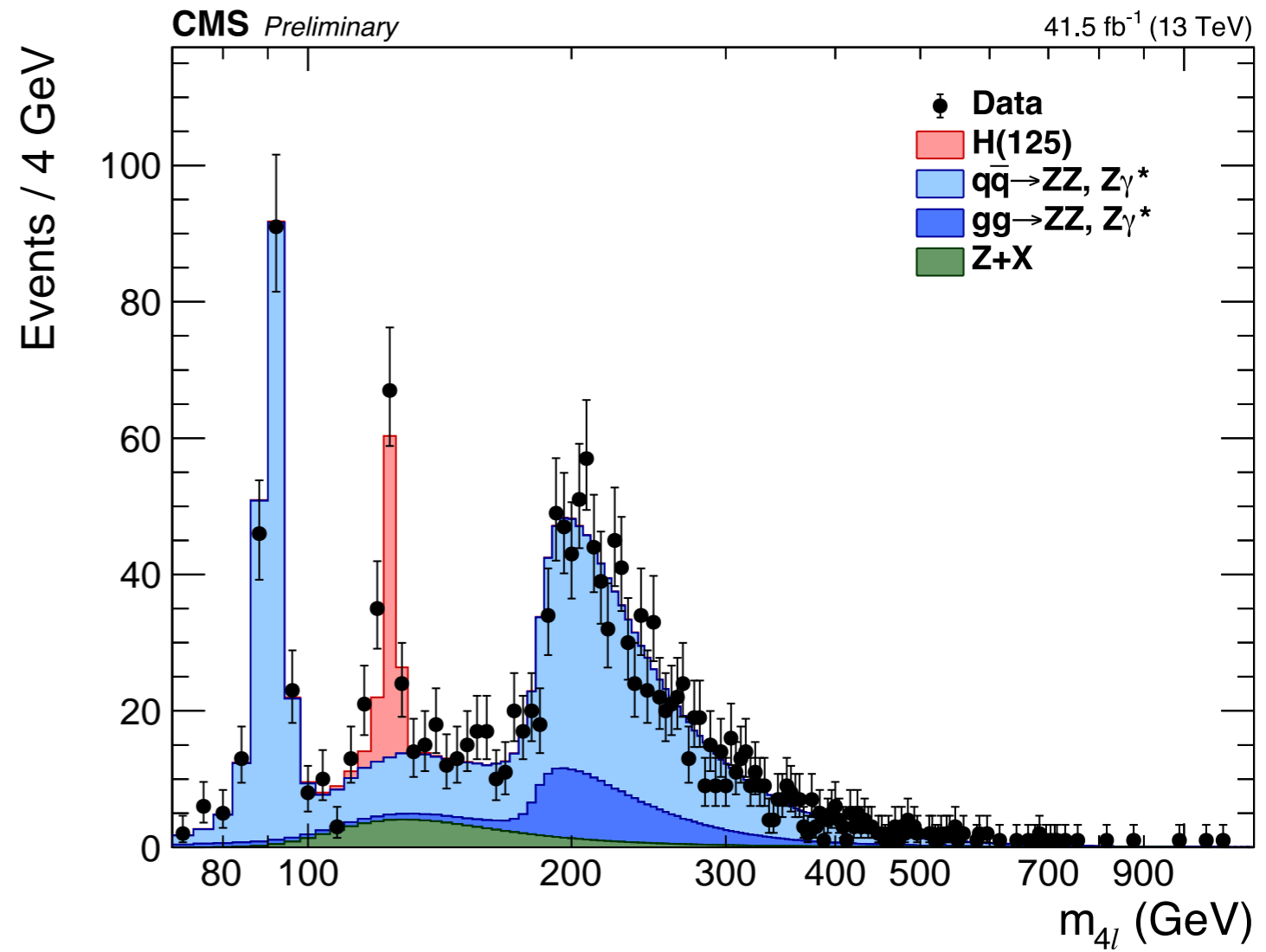
- Hiukkasfysiikan ja materiaalfysiikan lisäksi tarvitaan tilastotiedettä, tietojenkäsittelytiedettä, koneoppimista, matematiikkaa...

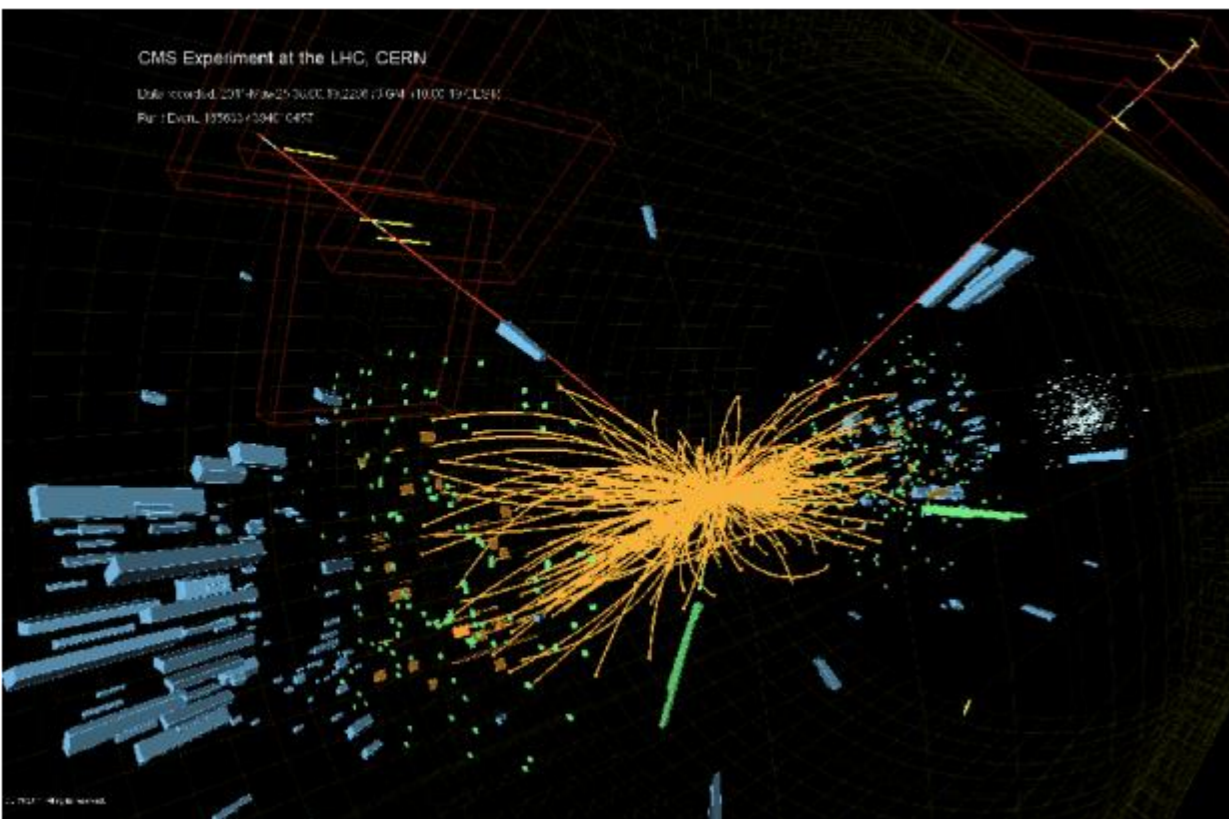
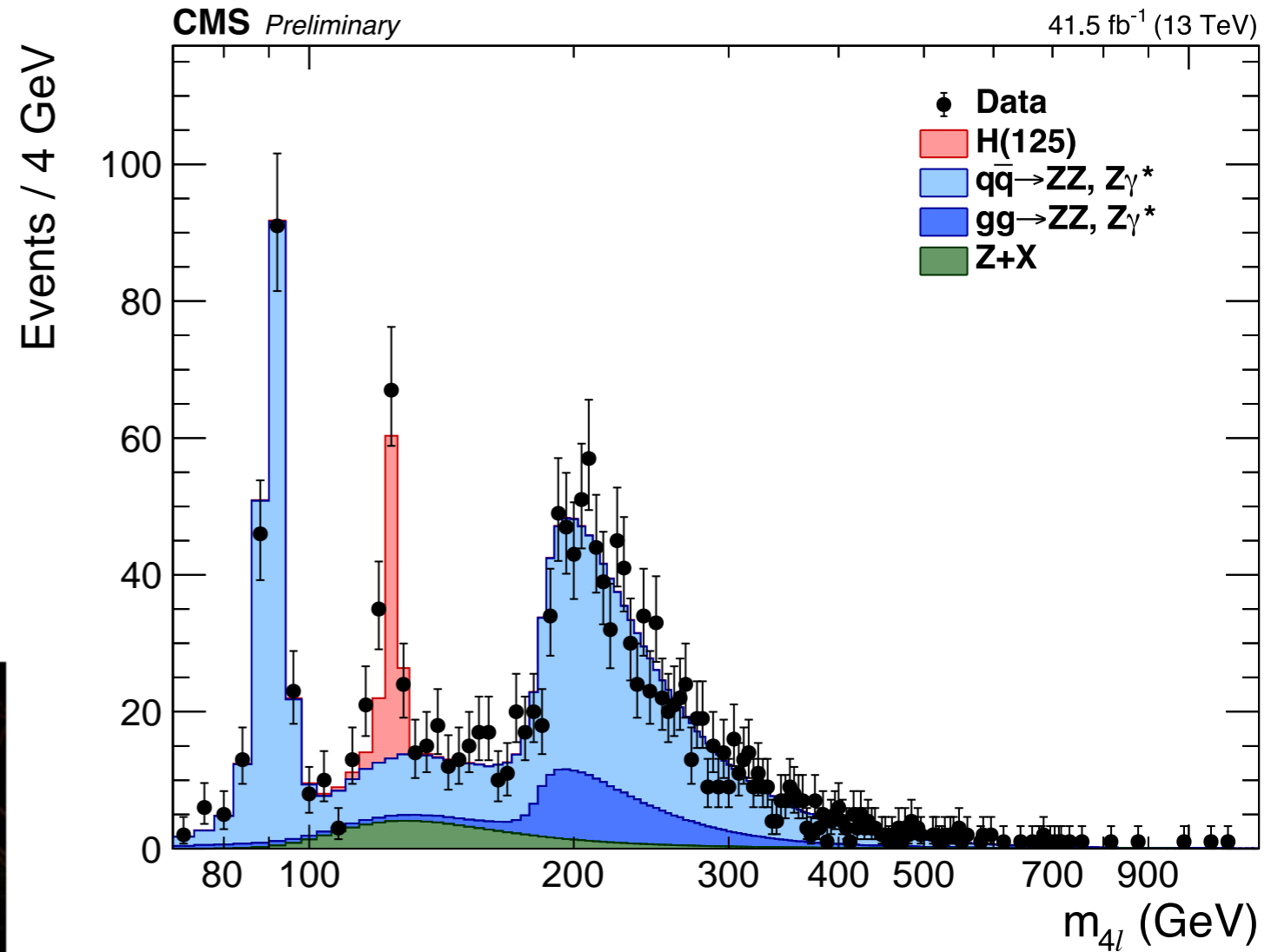
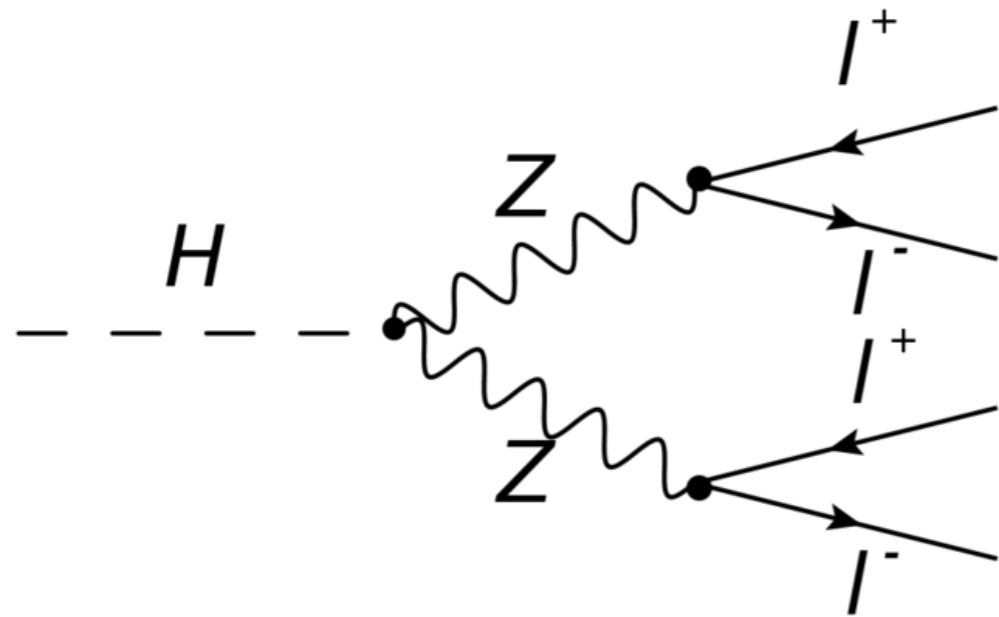
What is Physics? *Yesterday*



What is Physics? *Today*

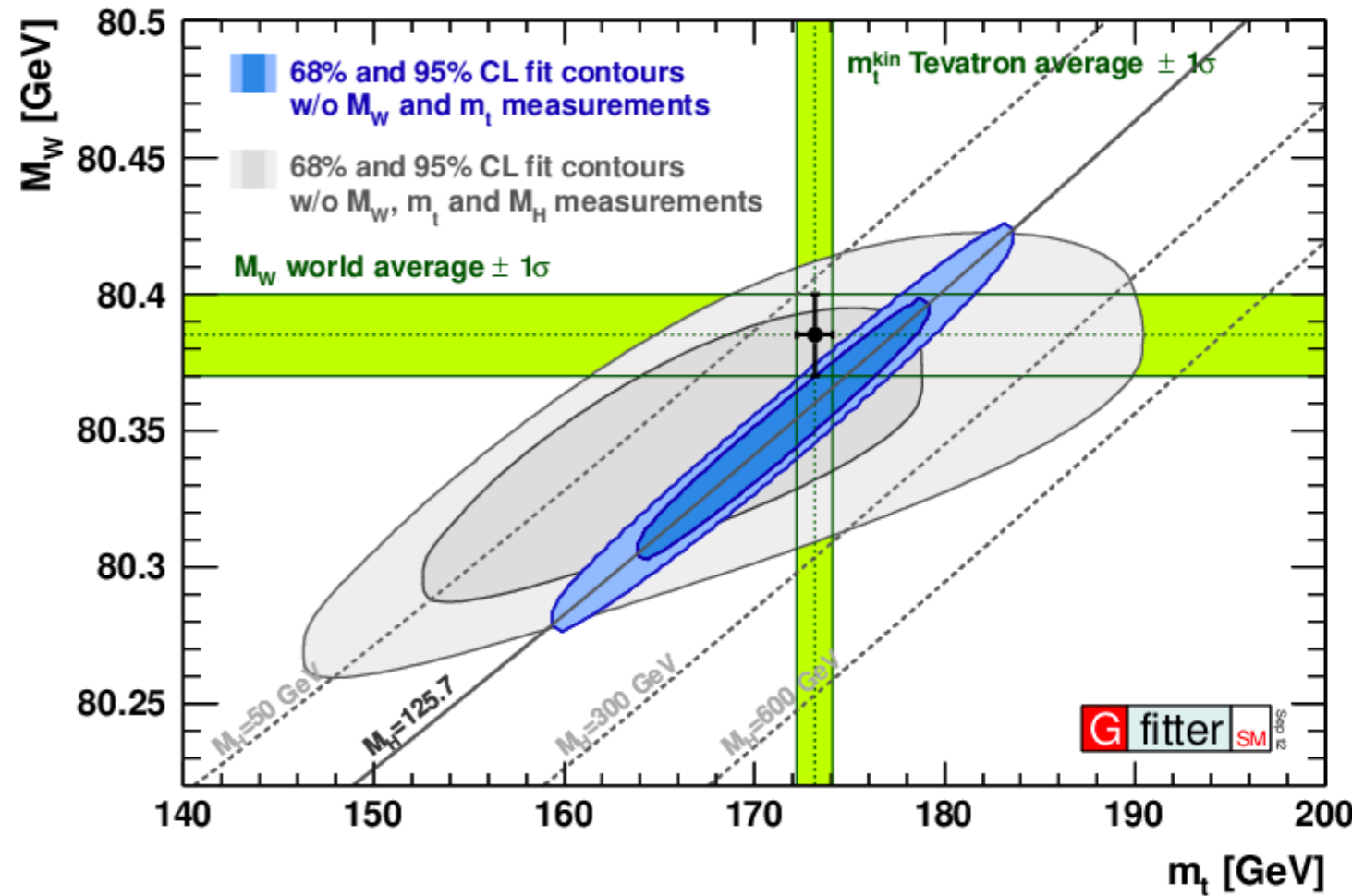






**Neljän leptonin systeemin
 ”invariantti massa”
 vastaa sen hiukkasen massaa
 josta leptonit ovat peräisin**

- 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!

