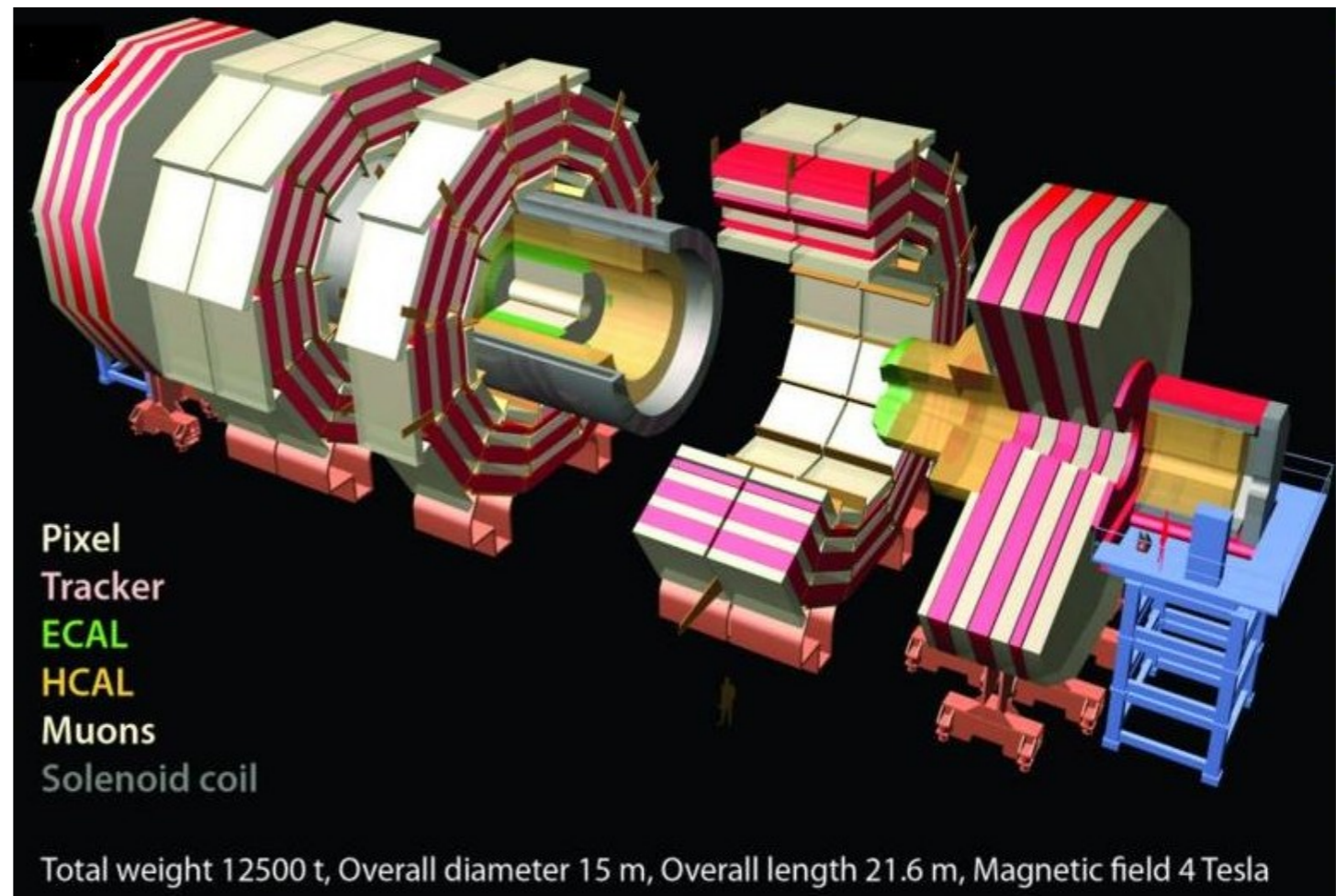
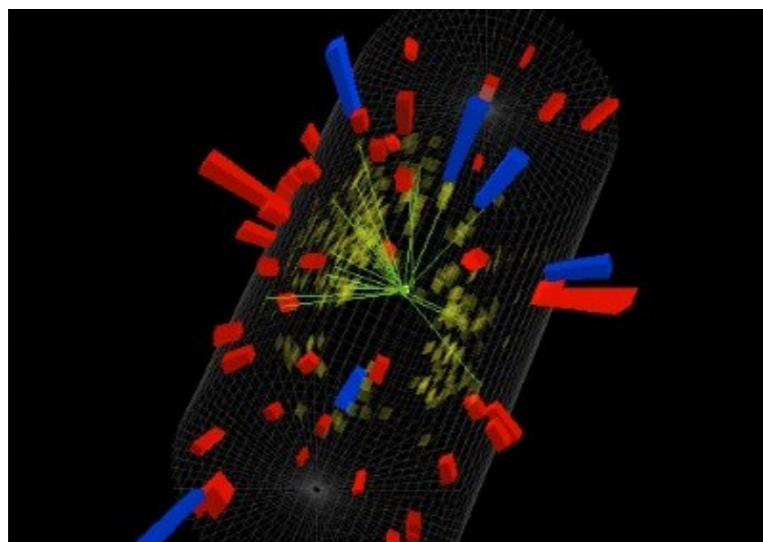




Opetusesimerkki hiukkasfysiikan avoimella datalla: CMS Masterclass 2017

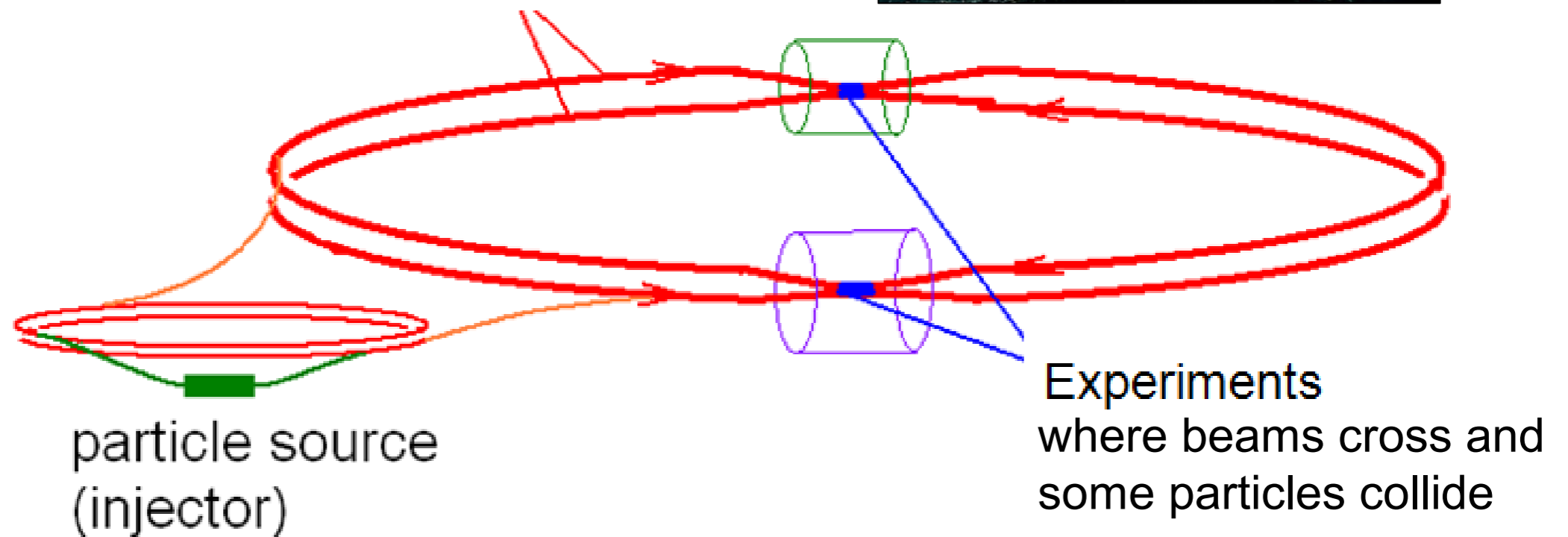




CERN ja LHC

LHC-kiihdytin ja sen koeasemat sijaitsevat 27km pitkässä tunnelissa noin 100 m maan alla Ranskan ja Sveitsin raja-alueella.

beams accelerated in large rings
(27 km circumference at CERN)





QuarkNet

Koeasemien ilmaisimien rakenne

Yleinen rakenne

Sylinterin muotoiset ilmaisimet hiukkassuihkun ympärillä

Listattuna sisältä ulos:

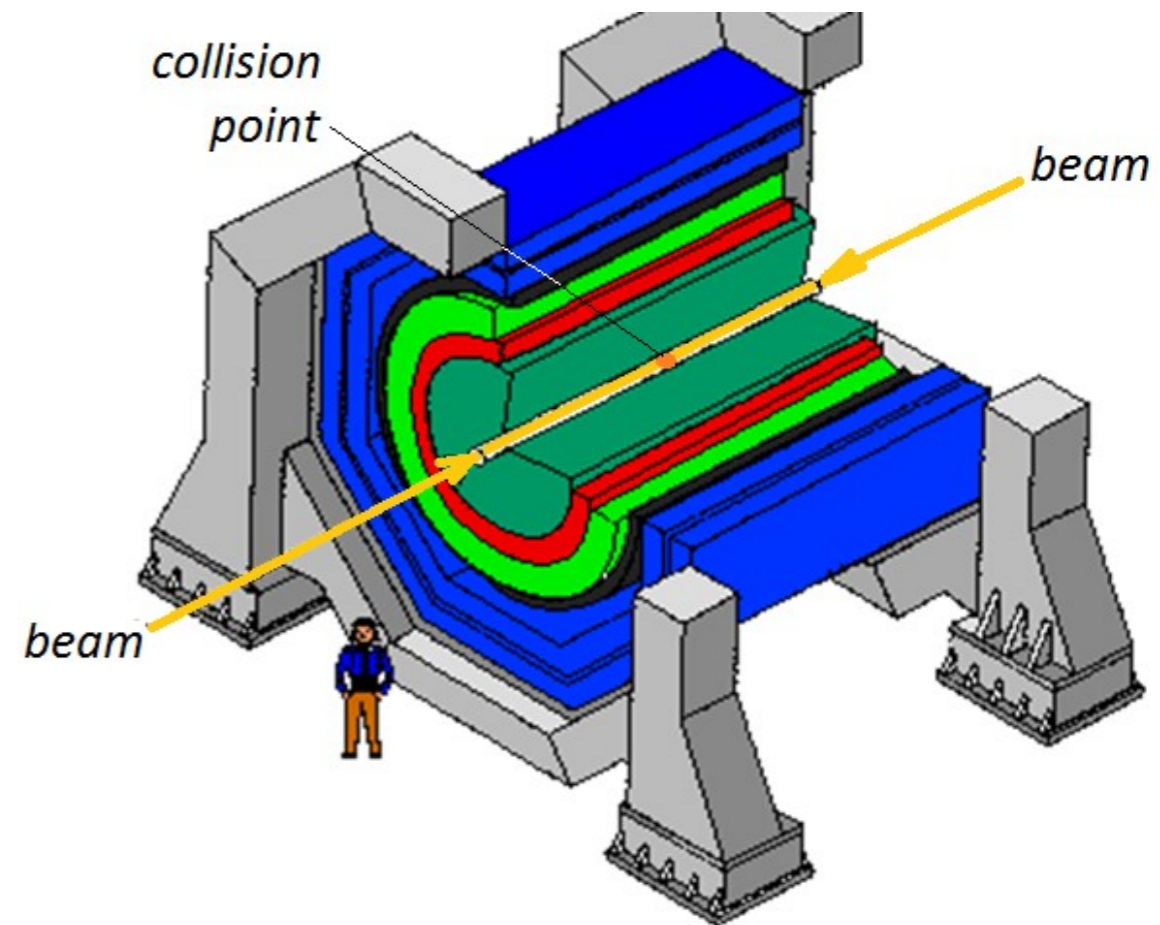
Jälki-ilmaisimet (tracking)

Sähkömagneettinen kalorimetri
(Electromagnetic calorimeter)

Hadronikalorimetri
(Hadronic calorimeter)

Magneetti

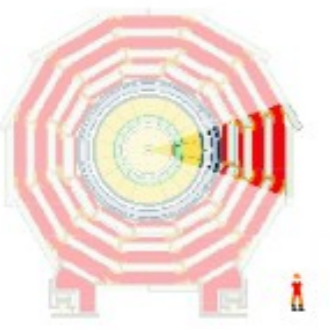
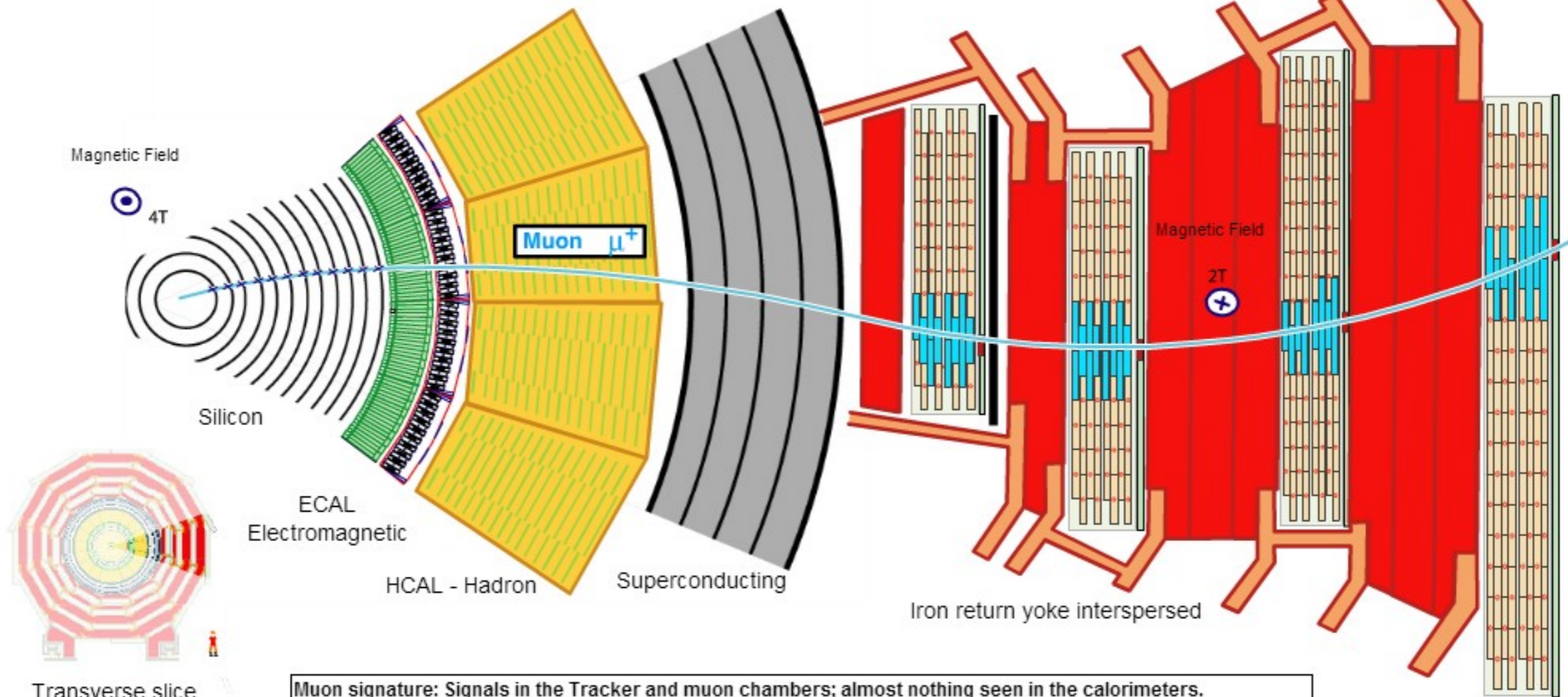
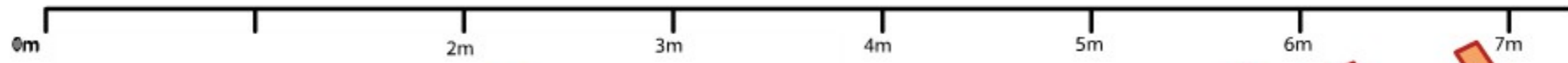
Muonikammiot (Muon chamber)





Hiukkasten jäljet

Transverse Slice of the Compact Muon Solenoid (CMS) Detector



Transverse slice through CMS

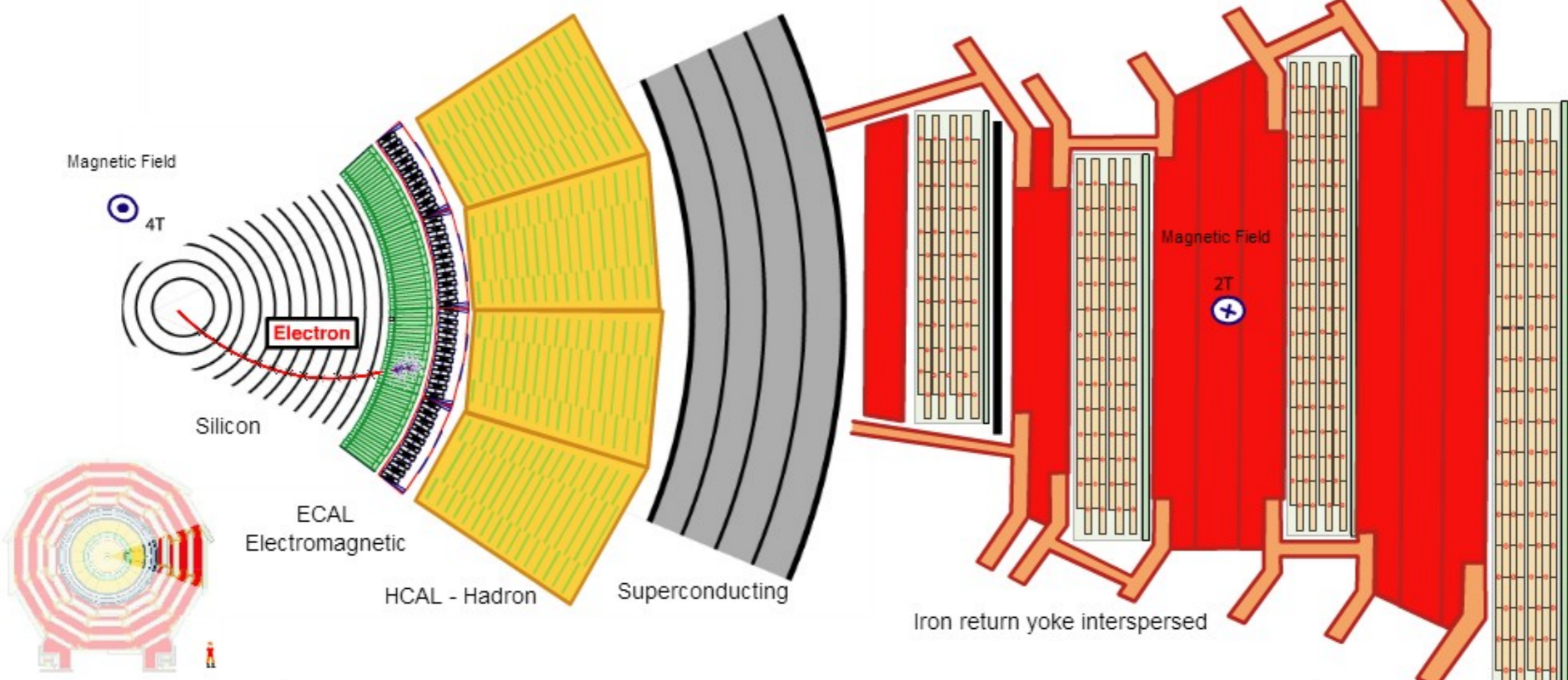
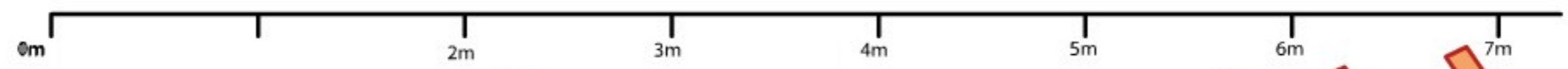
Muon signature: Signals in the Tracker and muon chambers; almost nothing seen in the calorimeters. Muons are perhaps the easiest particles to identify in CMS: no other charged particle traverses the whole detector. Being charged, they are bent by the field in one direction inside the solenoid and in the opposite direction outside. As muons can only arise from the decay of something heavier their presence signifies that something potentially interesting has happened.

D. Barney, CERN, 2004



Hiukkasten jäljet

Transverse Slice of the Compact Muon Solenoid (CMS) Detector

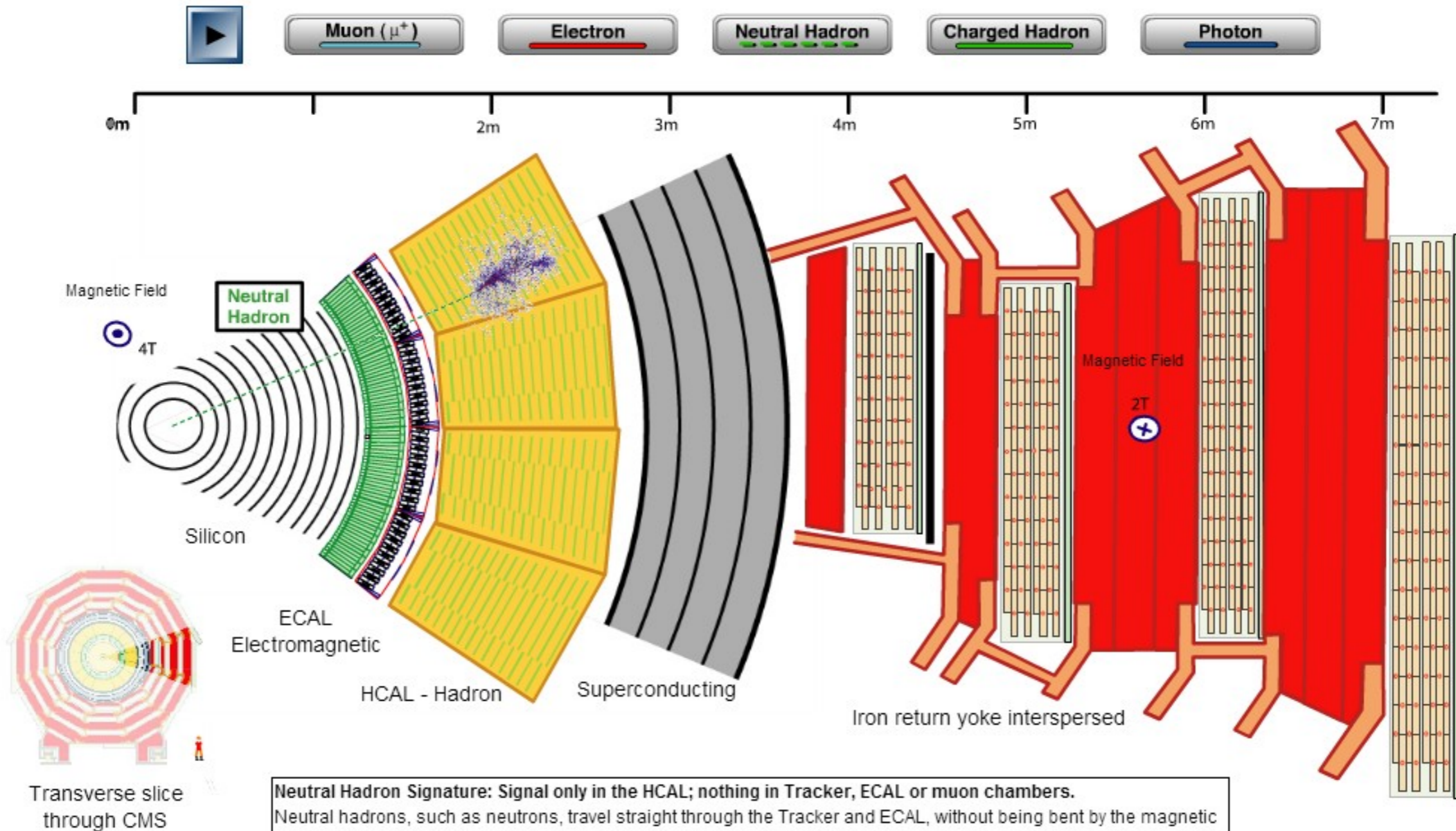


Transverse slice through CMS

Electron signature: Signals in the Tracker and the ECAL; nothing in the HCAL or muon chambers.
 These electrically charged particles bend in the field and leave signals in the Tracker, enabling their paths to be reconstructed. The amount of bend depends on the momentum they carry, with the radius of curvature, r , being given by the momentum, p , divided by $0.3 \times B$, where B is the magnetic field strength (3.8T in CMS). Electrons are slowed to a stop in the transparent lead tungstate crystals of the ECAL, producing a **shower** of electrons, photons and positrons along the way and depositing their energy in the form of light, which is detected. The amount of light is proportional to the electron energy.

Derived from CMS Detector Slice from CERN

Transverse Slice of the Compact Muon Solenoid (CMS) Detector

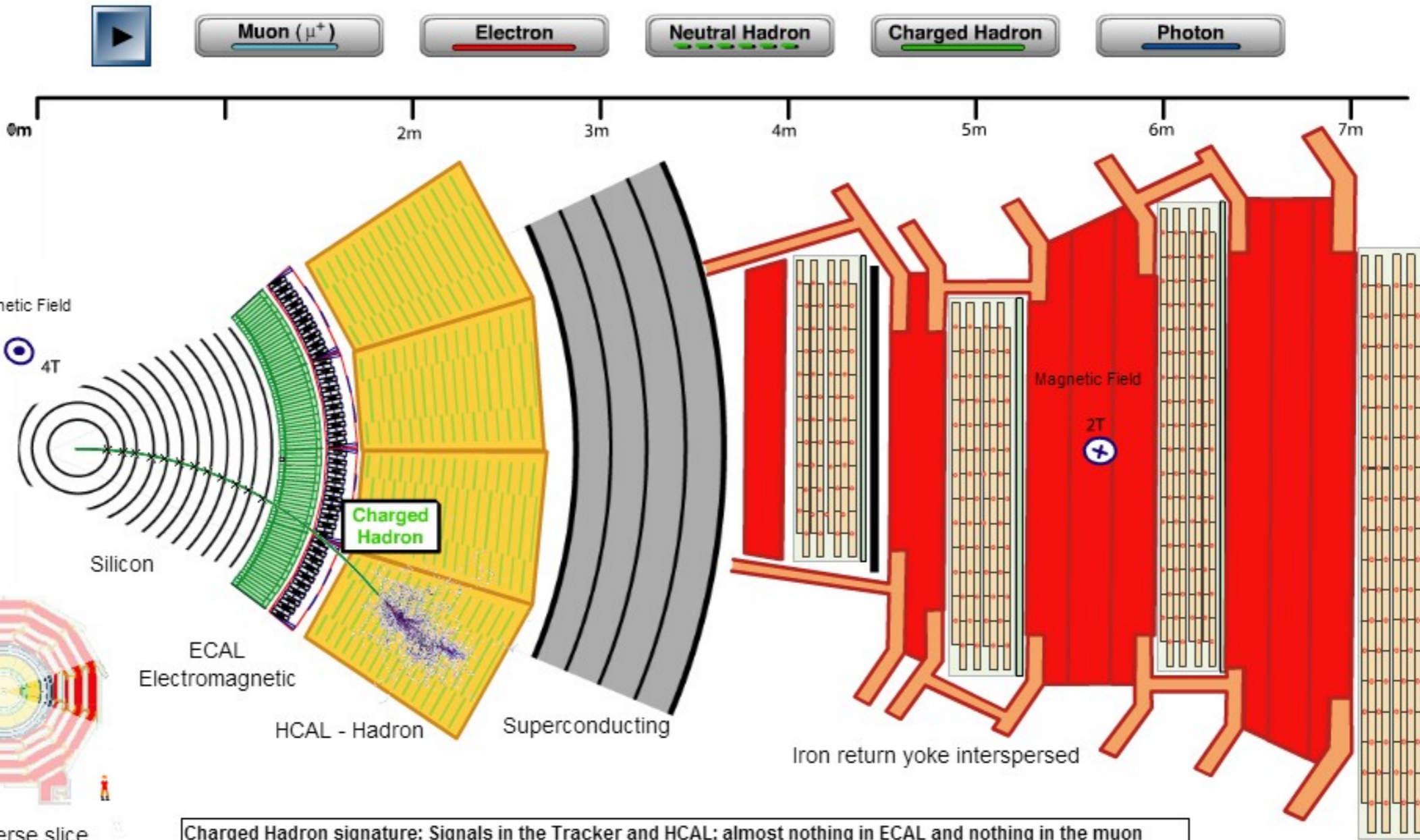


D. Barney, CERN, 2004



Hiukkasten jäljet

Transverse Slice of the Compact Muon Solenoid (CMS) Detector



Transverse slice through CMS

Charged Hadron signature: Signals in the Tracker and HCAL; almost nothing in ECAL and nothing in the muon chambers.

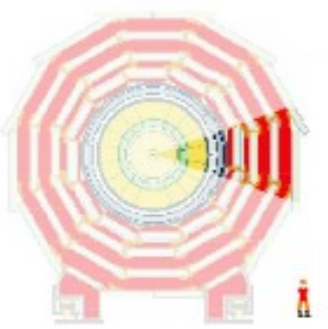
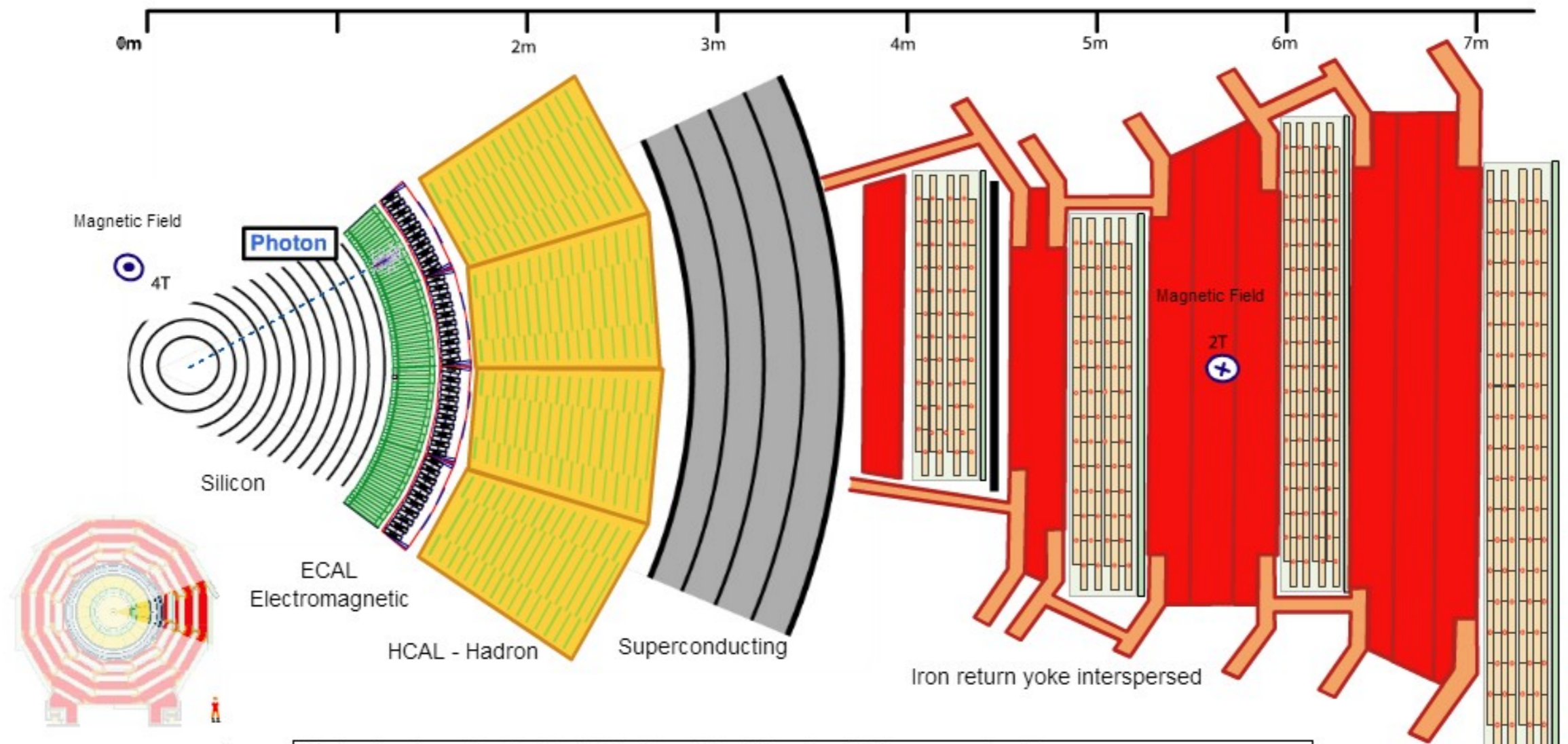
Charged hadrons, such as protons and pi plus or pi minus (made of pairs of quarks), are bent by the magnetic field and travel straight through the ECAL leaving almost no signals. Upon reaching the HCAL they are slowed to a stop by the dense materials, producing showers of secondary particles along the way that in turn produce light in thin layers of plastic scintillator material. The amount of light is proportional to the energy of the incoming hadron.

D. Barney, CERN, 2004



Hiukkasten jäljet

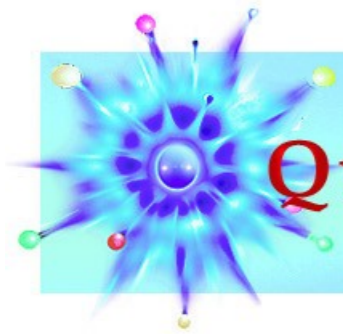
Transverse Slice of the Compact Muon Solenoid (CMS) Detector



Transverse slice through CMS

Photon signature: Signal in the ECAL only; nothing in Tracker, HCAL or muon chambers.
 Being electrically neutral, photons pass through the Tracker undetected and not bent by the magnetic field. They interact in the ECAL in a similar way to electrons, producing electromagnetic showers that leave their energies in the form of light that is detected.

D. Barney, CERN, 2004

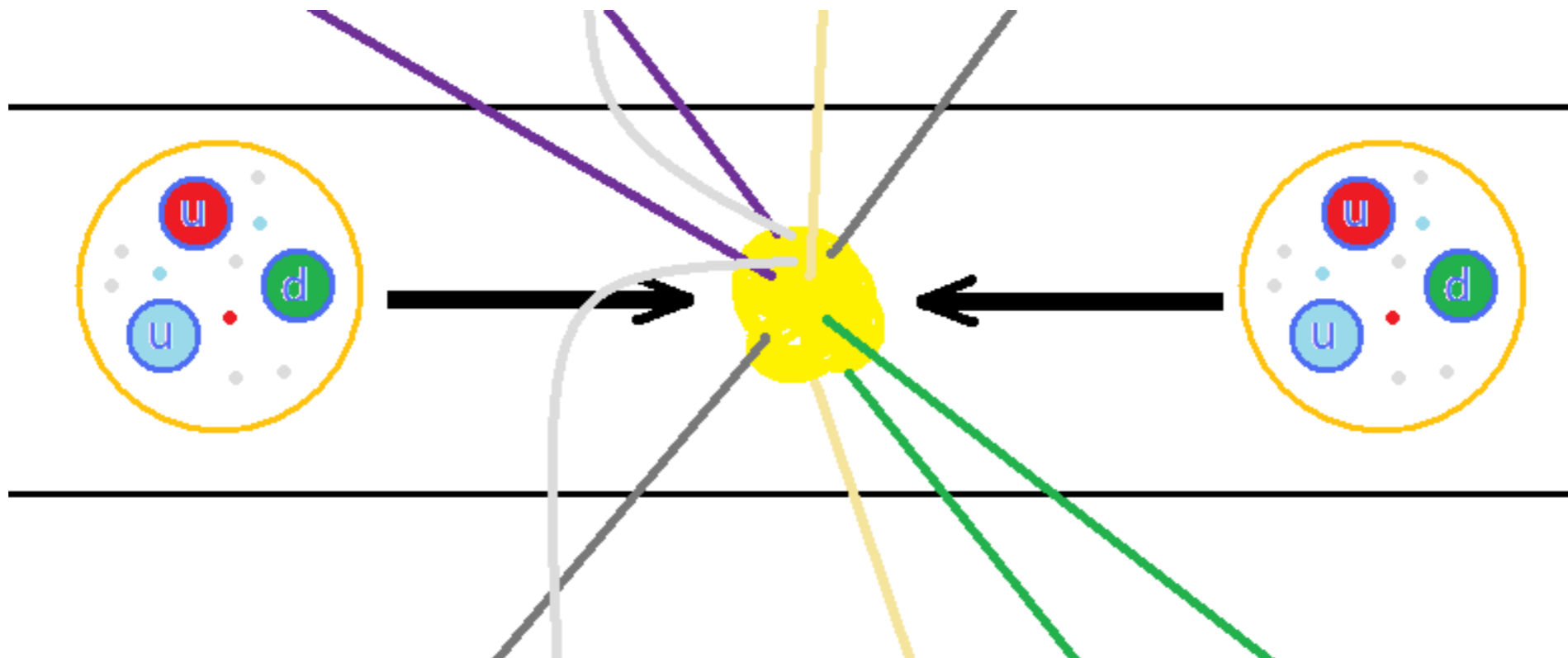


QuarkNet

Energia ja hiukkasten massat

Jos protonisuihkujen energiat ovat 6,5 TeV....

- Törmäysenergia on $2 \times 6,5 \text{ TeV} = 13 \text{ TeV}$.
- Kuitenkin, protonien sisällä olevilla hiukkasilla on vain osa tuosta 6,5 TeV:sta.
- Joten syntyvien uusien hiukkasten massan **täytyy** olla pienempi kuin 13 TeV.





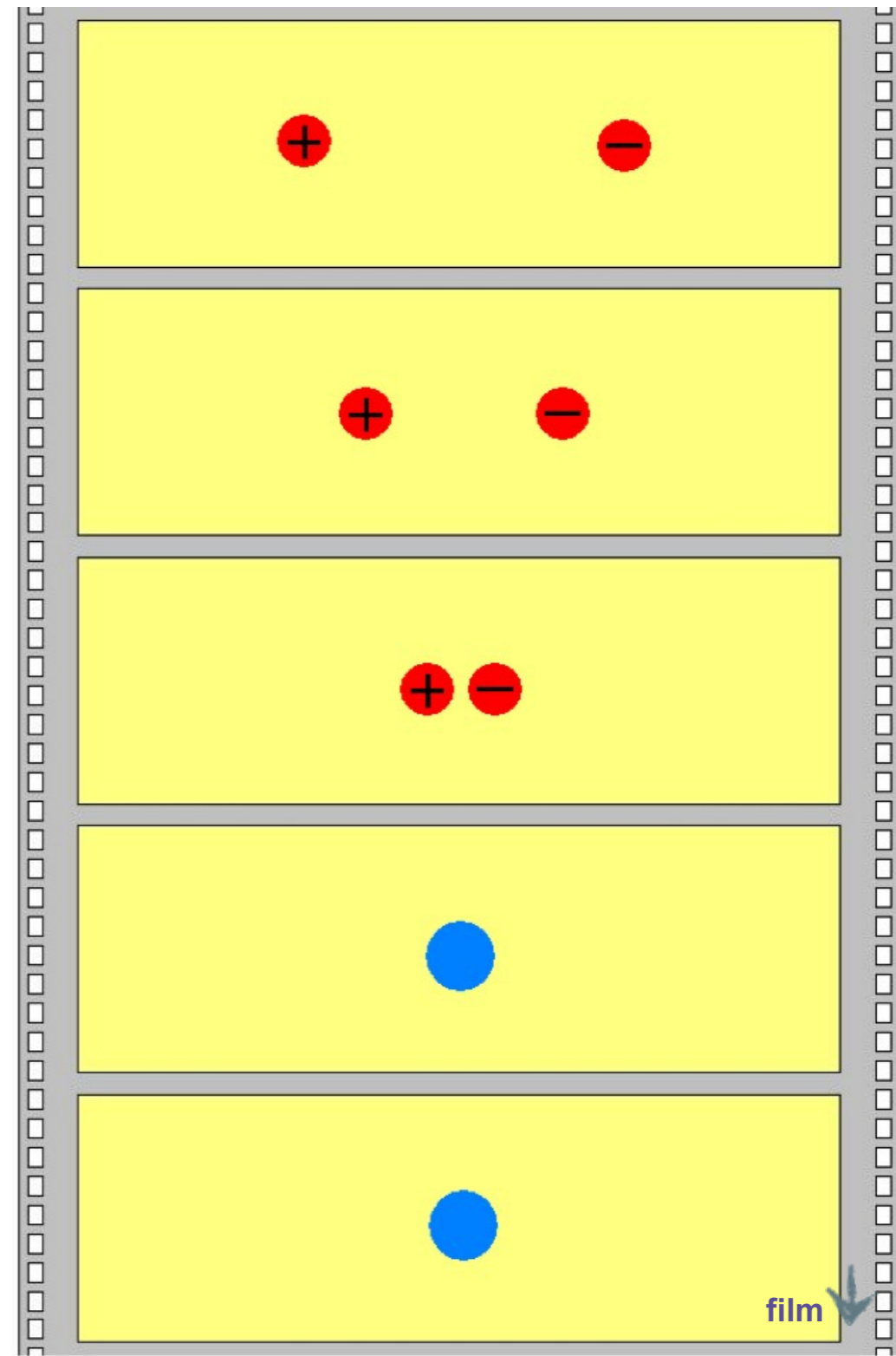
QuarkNet

Hiukkasten hajoamiset

Törmäyksissä syntyy uusia hiukkasia, jotka hajoavat lähes välittömästi, ja syntyy kevyempiä hiukkasia.

Säilymislait määräävät, mitä hiukkasia voi syntyä.

Kysymys: Mitä säilymislakeja muistat?

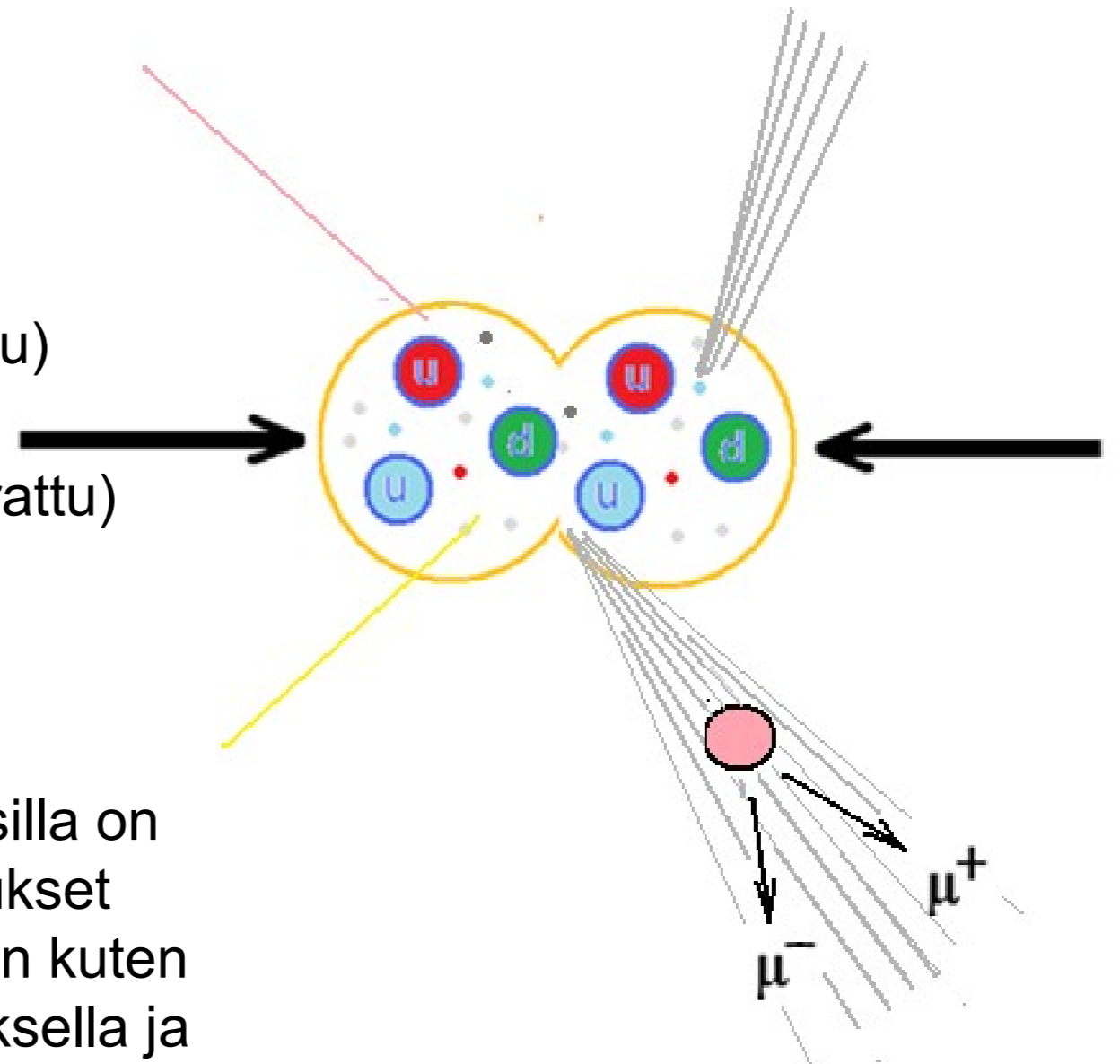




Etsimme nyt **heikon vuorovaikutuksen välittäjähiukkasia**:

- **W^+ bosonia** (positiivisesti varattu)
- **W^- bosonia** (negatiivisesti varattu)
- **Z bosonia** (varaukseton)

Heikon vuorovaikutuksen välittäjähiukkasilla on massa, minkä seurauksena vuorovaikutukset tapahtuvat vain lyhyillä etäisyyksillä (toisin kuten esim. sähkömagneettisella vuorovaikutuksella ja massattomalla fotonilla)





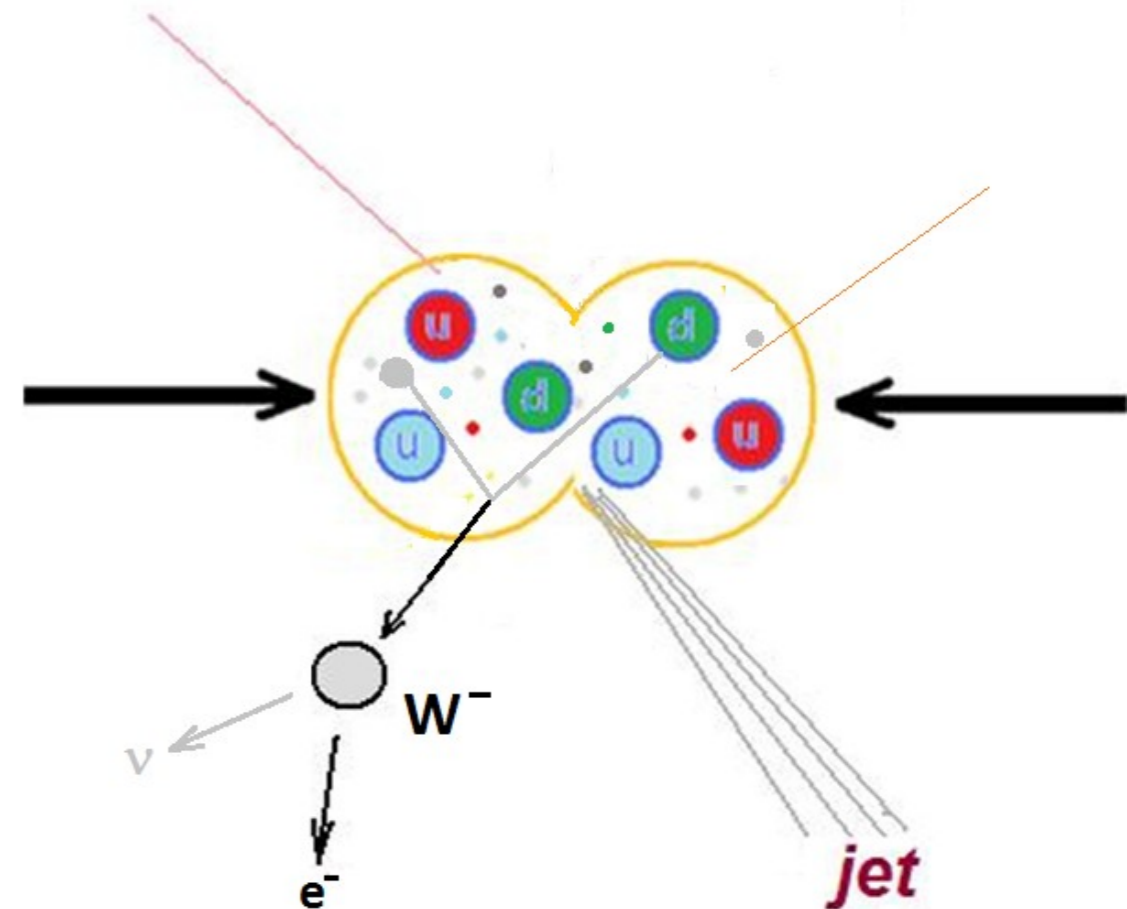
QuarkNet

W- ja Z-hiukkaset

W-bosonin hajotessa syntyy neutriino ja elektroni/myoni, joka kuljettaa varausta.

Z-bosoni hajoaa elektroni/myoni pariin, varaus ei muutu.

Riittävän suuri törmäysenergia voi synnyttää Z- ja W-bosoneita tai muita hiukkasia.

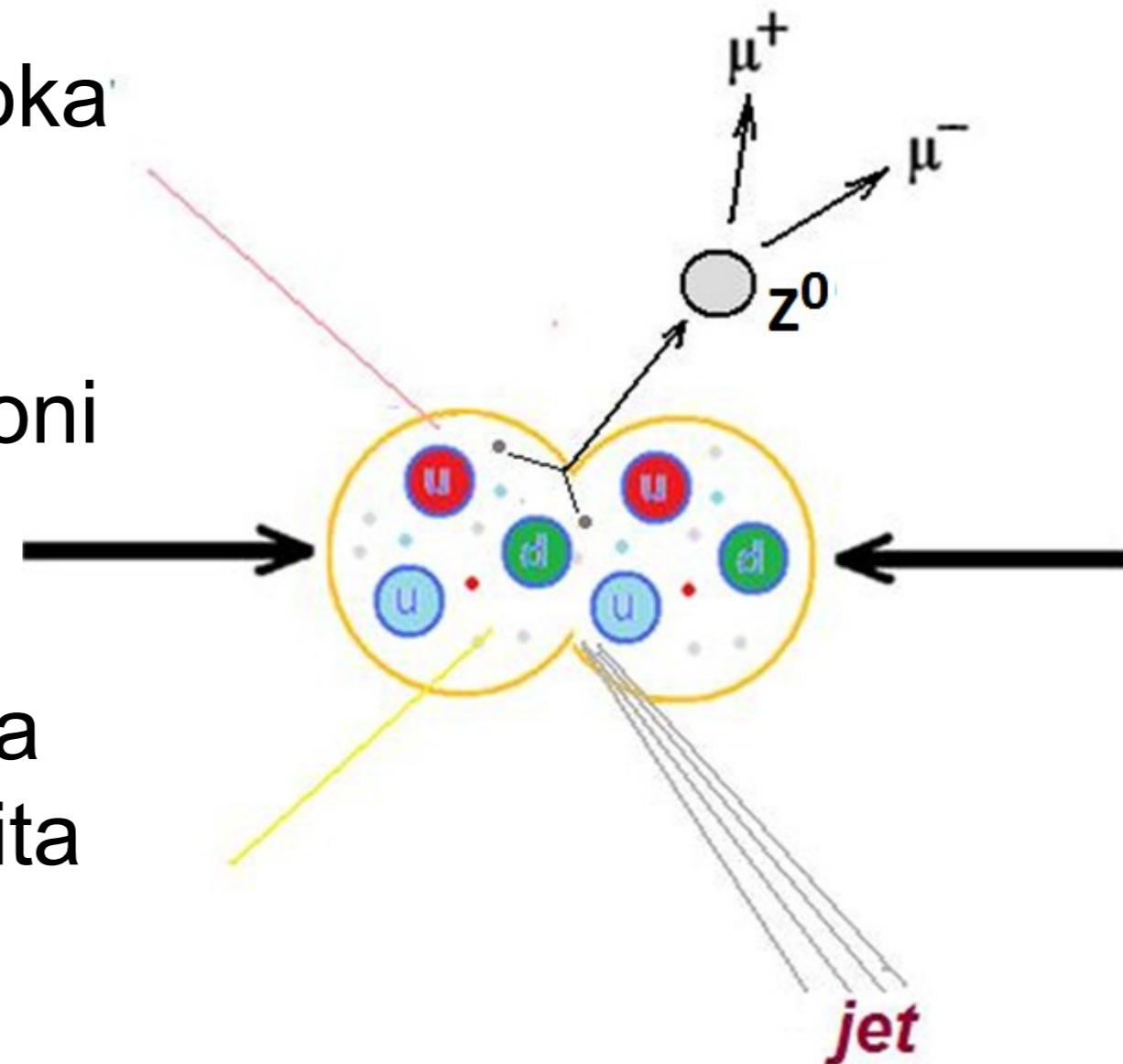




W-bosonin hajotessa syntyy neutriino ja elektroni/myoni, joka kuljettaa varausta.

Z-bosoni hajoaa elektroni/myoni pariin, varaus ei muutu.

Riittävän suuri törmäysenergia voi synnyttää Z- ja W-bosoneita tai muita hiukkasia.



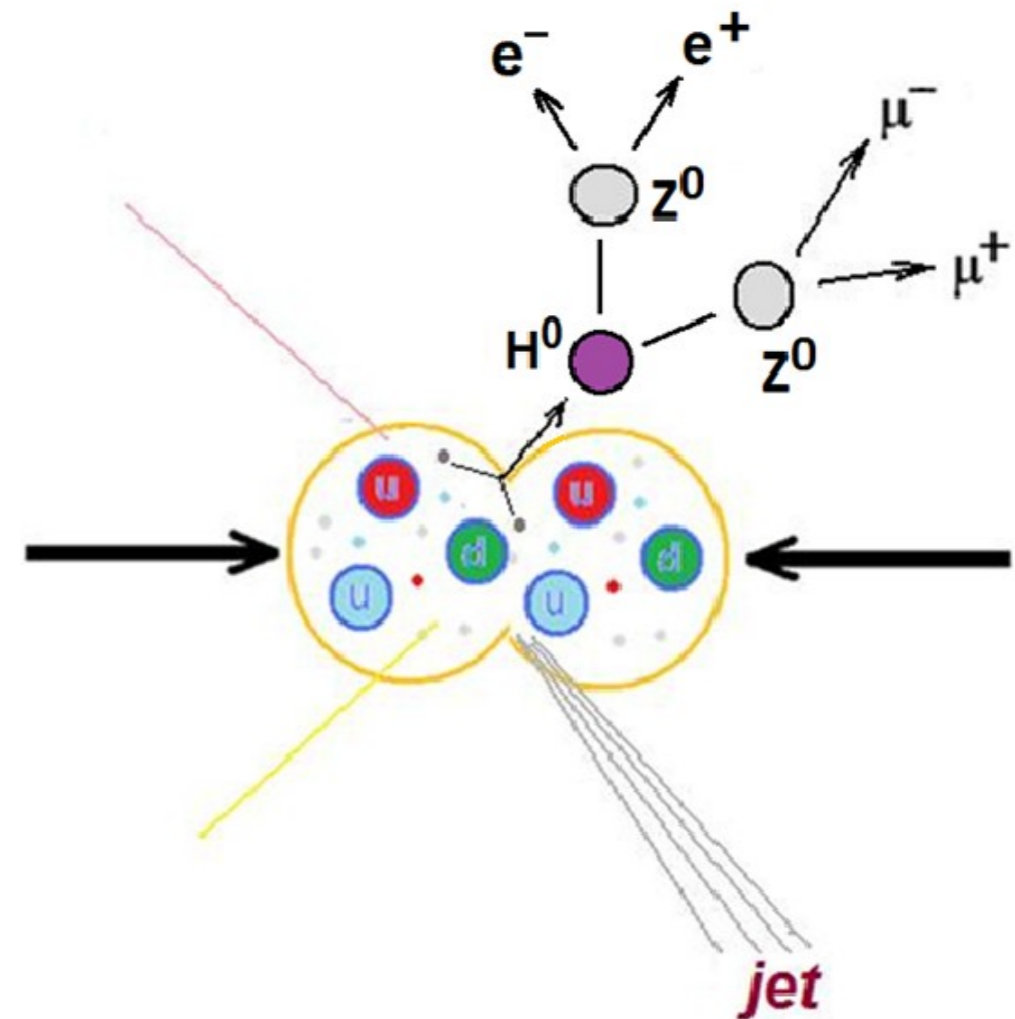


QuarkNet

Higgsin bosoni

Higgsin boson löydettiin CMS ja ATLAS-kokeissa, ja löytö julkistettiin 4.7.2012.

Pitkään etsitty hiukkanen liittyy “Higgsin mekanismiin”, joka selittää muiden hiukkasten massat.



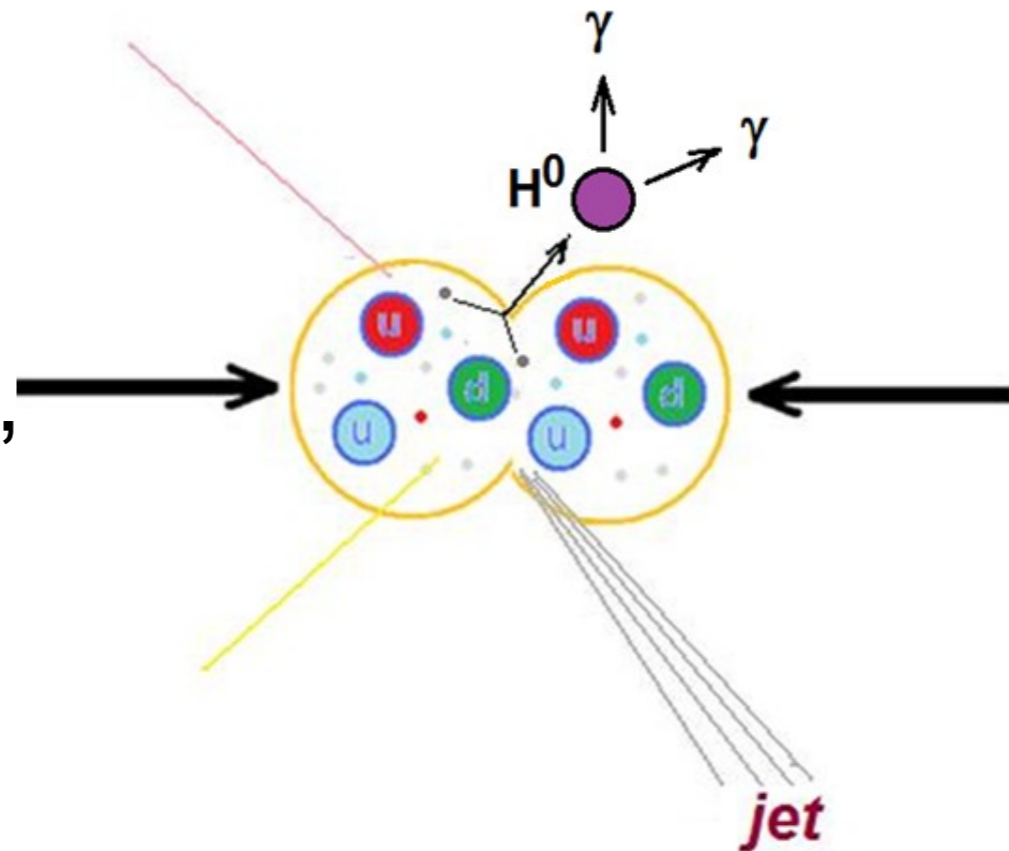


QuarkNet

Higgsin bosoni

Higgsin boson löydettiin CMS ja ATLAS-kokeissa, ja löytö julkistettiin 4.7.2012.

Pitkään etsitty hiukkanen liittyy “Higgsin mekanismiin”, joka selittää muiden hiukkasten massat.

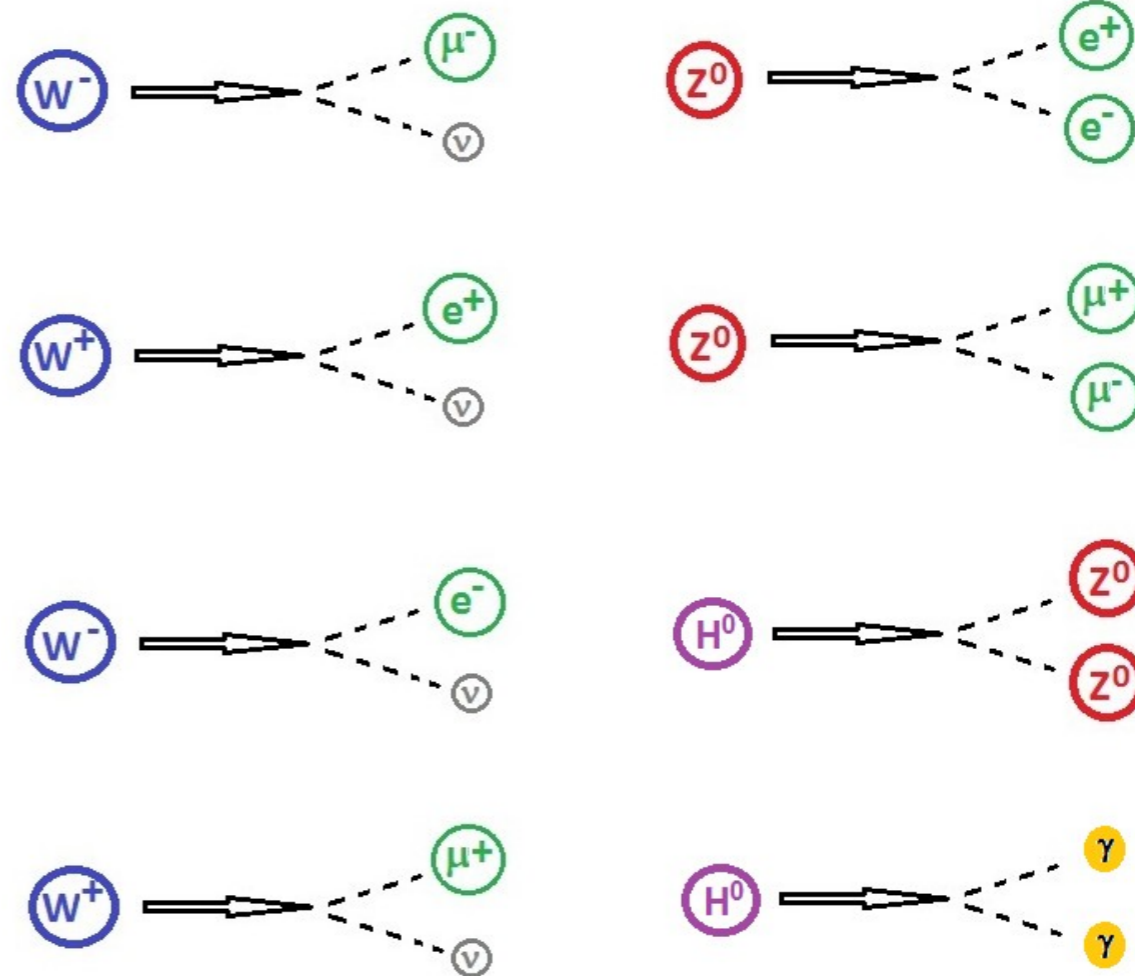




Bosonit hajoavat lähes välittömästi, joten niiden “jälkiä” ei havaita.

CMS voi havaita:

- elektronit
- myonit
- fotonit



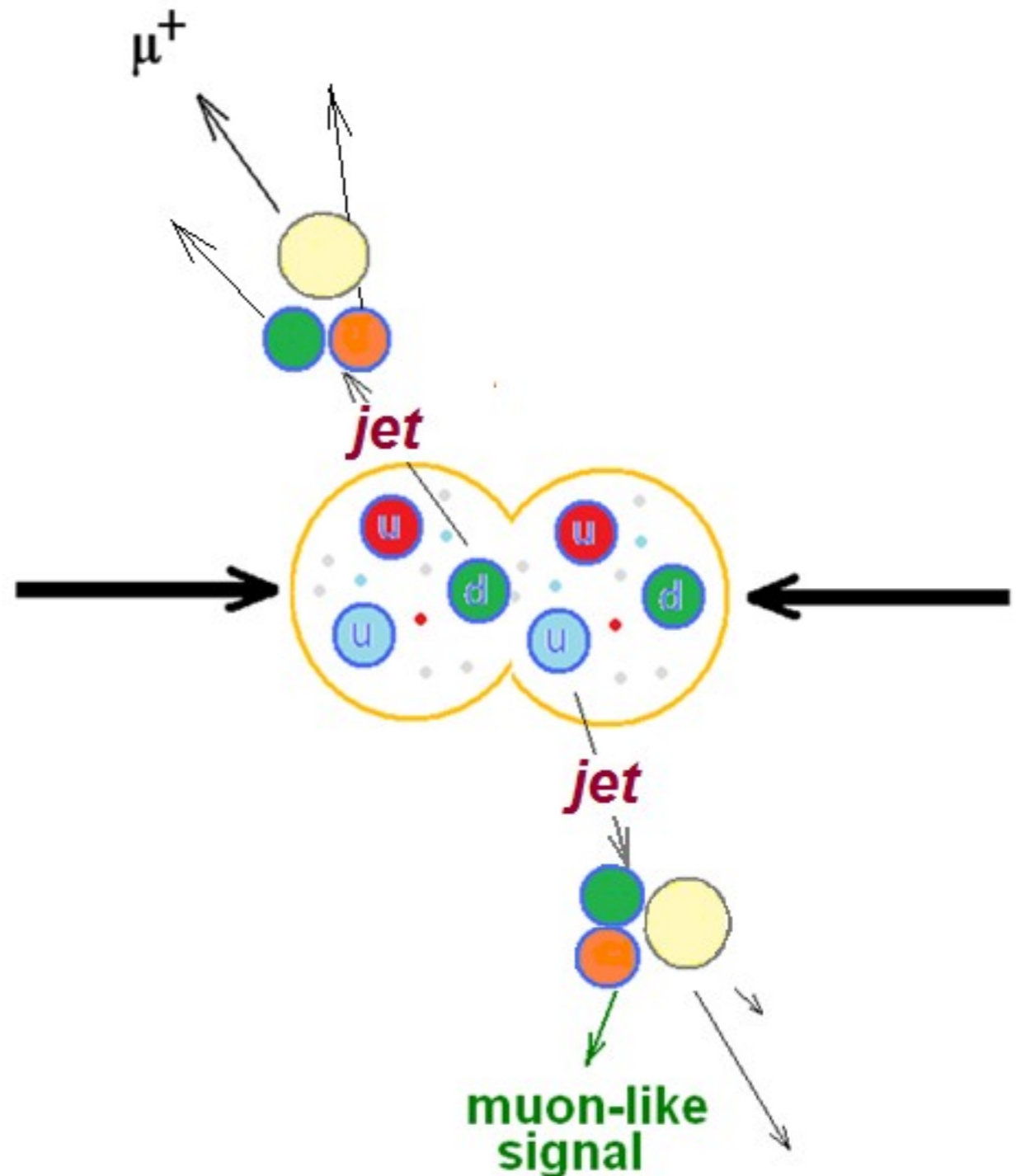
CMS voi päätellä:

- neutriinojen esiintymisen “puuttuvan energian” avulla

Törmäyksiä seurauksena kvarkit saattavat sirotta eri suuntiin.

Kvarkkien välinen sidoseenergia muuttuu tuolloin uusien hiukkasten ryöpyiksi ("jets"), joissa voi olla elektroneja ja myoneja.

Tietokone suodattaa pois ne törmäykset, joissa on hiukkasryöppyjä, koska nyt emme ole niistä kiinnostuneita. Joitakin saattaa silti jäädä suodattamatta.





QuarkNet

iSpy – visualisointiohjelma webissä

event display controls

Detector Model ?

- Tracker
- ECAL Barrel
- ECAL Endcap
- ECAL Preshower
- HCAL Barrel
- HCAL Endcap
- HCAL Outer
- HCAL Forward
- Drift Tubes (muon)
- Cathode Strip Chambers (muon)
- Resistive Plate Chambers (muon)

Tracking ?

- Tracks (reco.)
- Clusters (Si Pixels)
- Clusters (Si Strips)
- Rec. Hits (Tracking)

ECAL ?

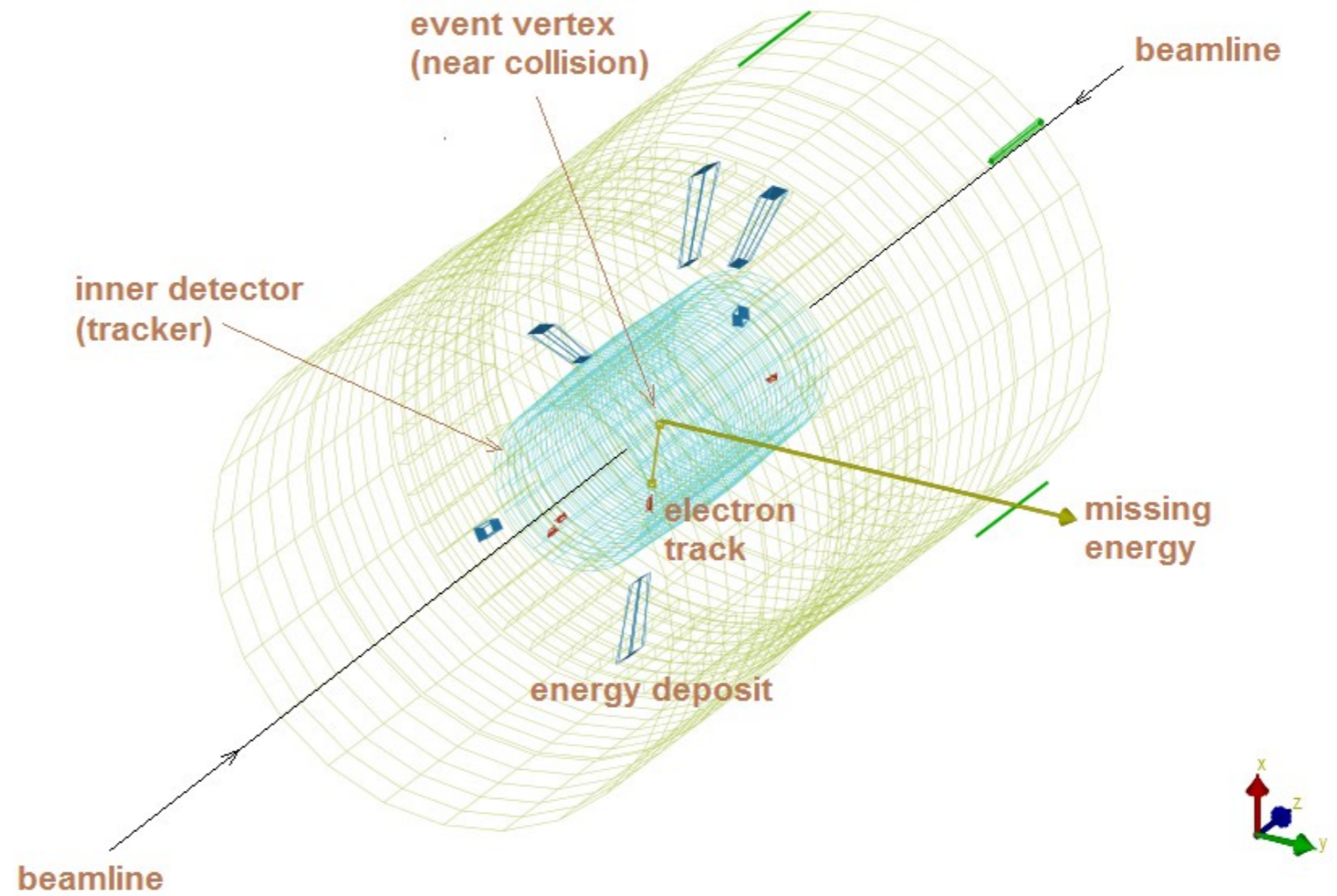
- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Preshower Rec. Hits

HCAL ?

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Forward Rec. Hits
- Outer Rec. Hits

Controls:

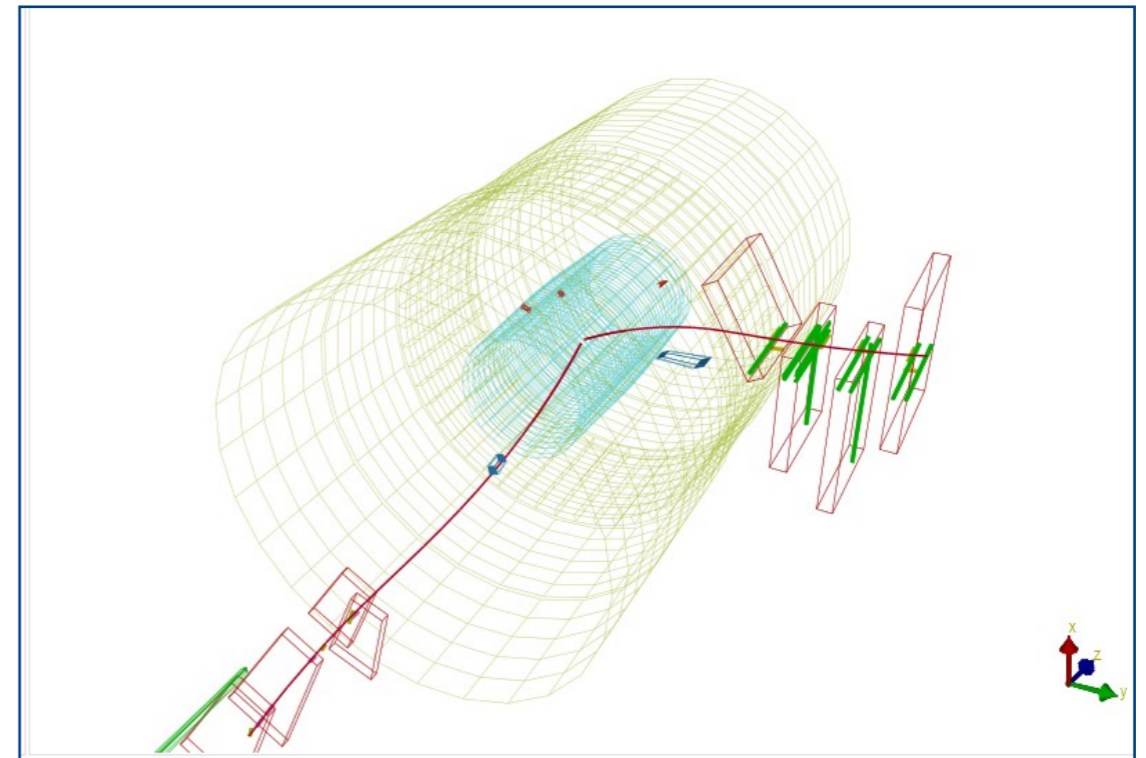
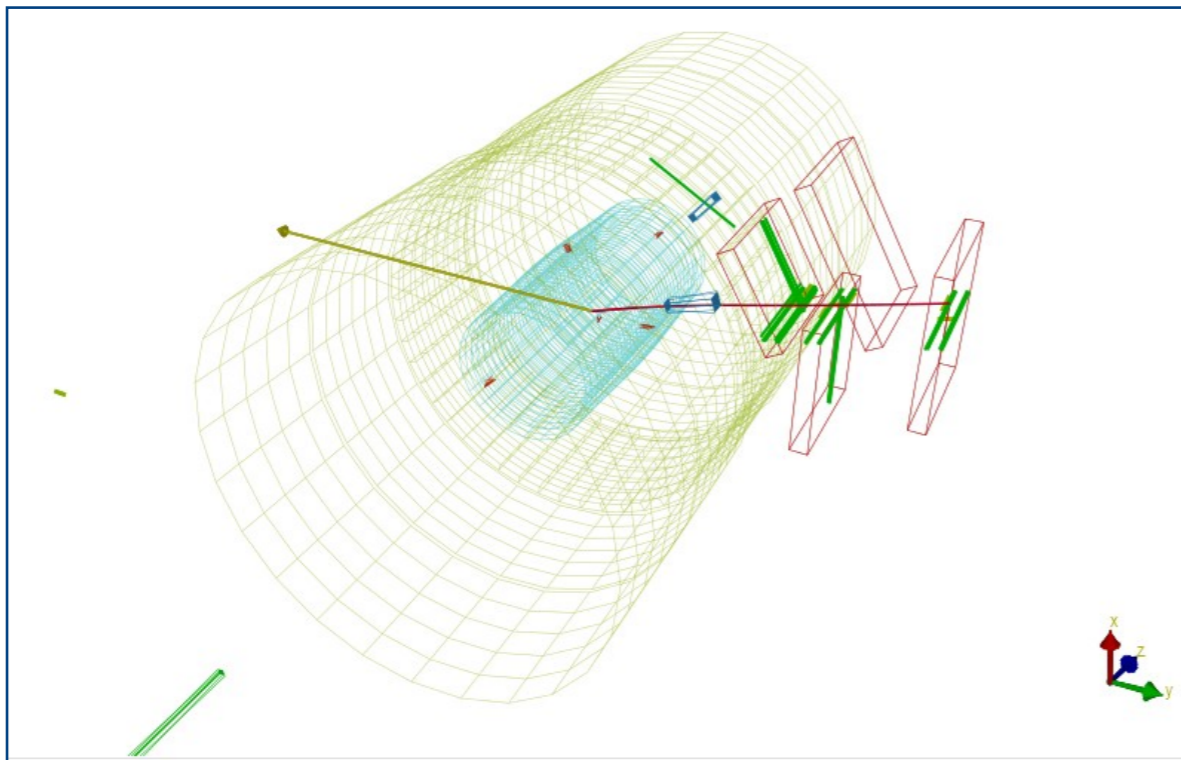
- rotate
- Ctrl** + → pan x / y
- Shift** + → pan z





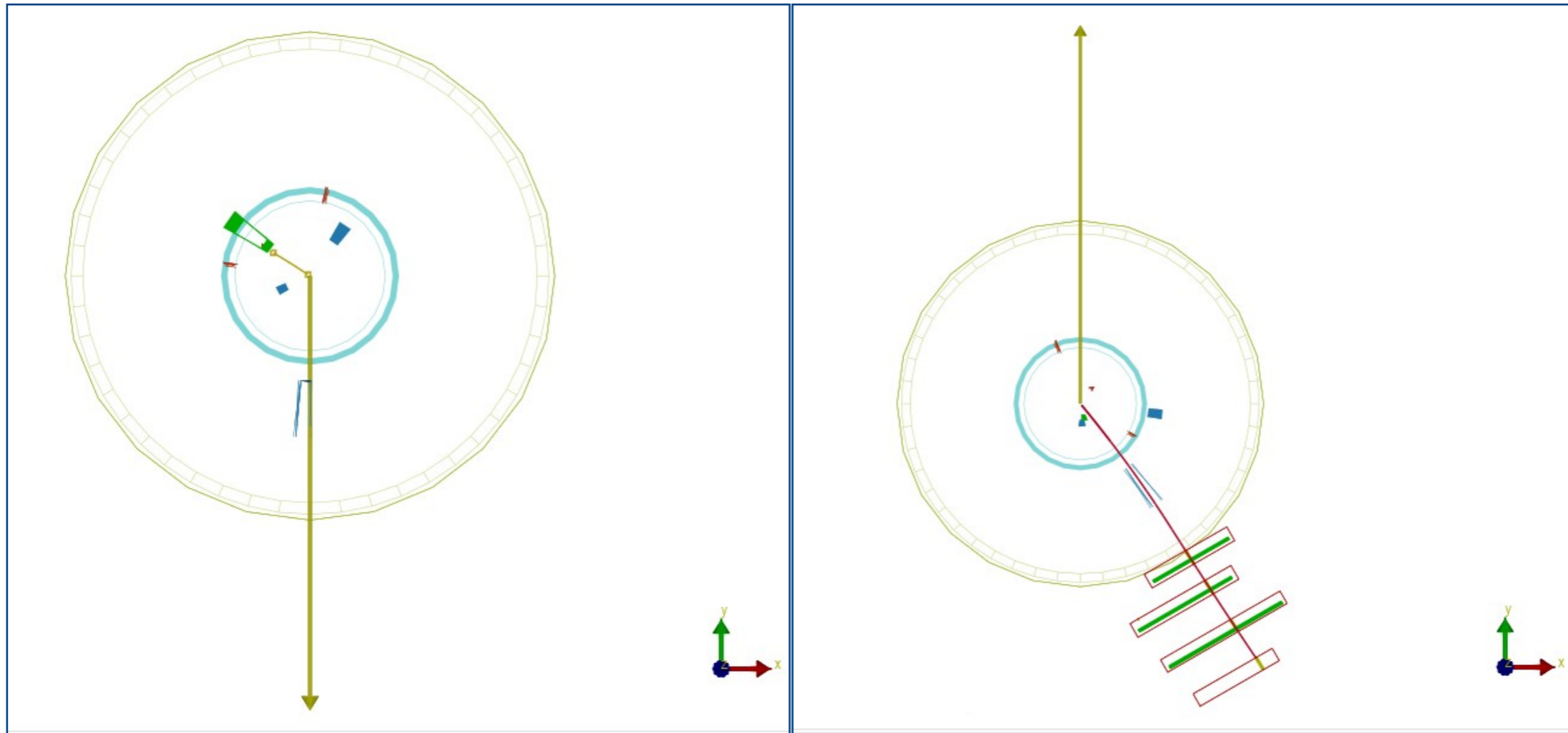
Käytämme aitoa LHC-dataa testataksemme CMS-kokeen suorituskykyä:

- Pystymmekö erottelamaan W- ja Z-kandidaatit?



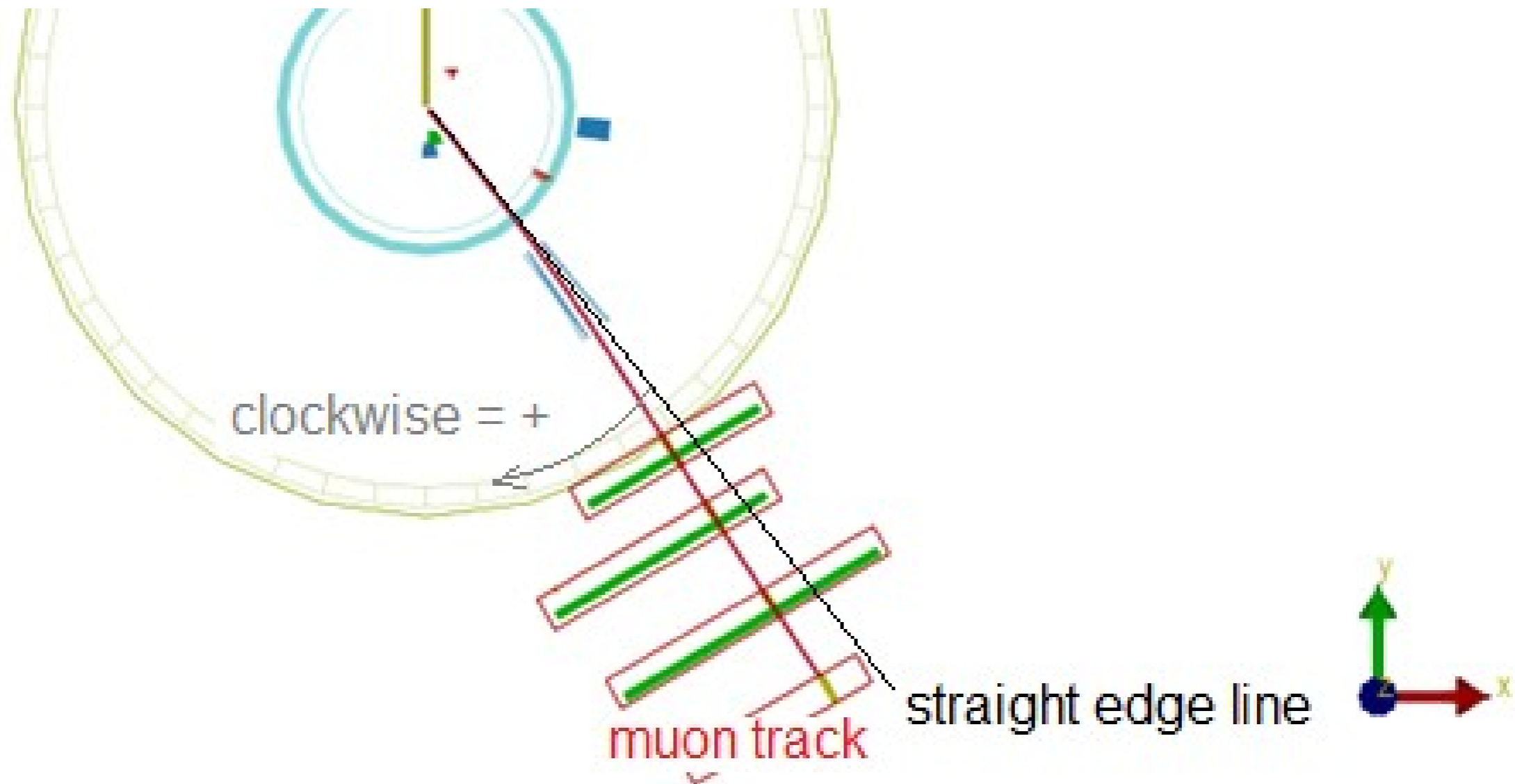


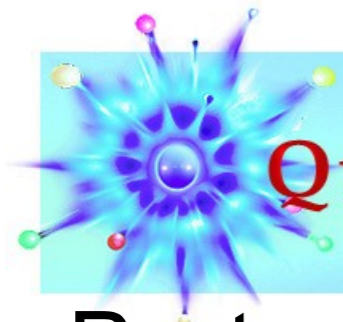
- Voimmeko laskea e/μ lukumäärien suhteen?



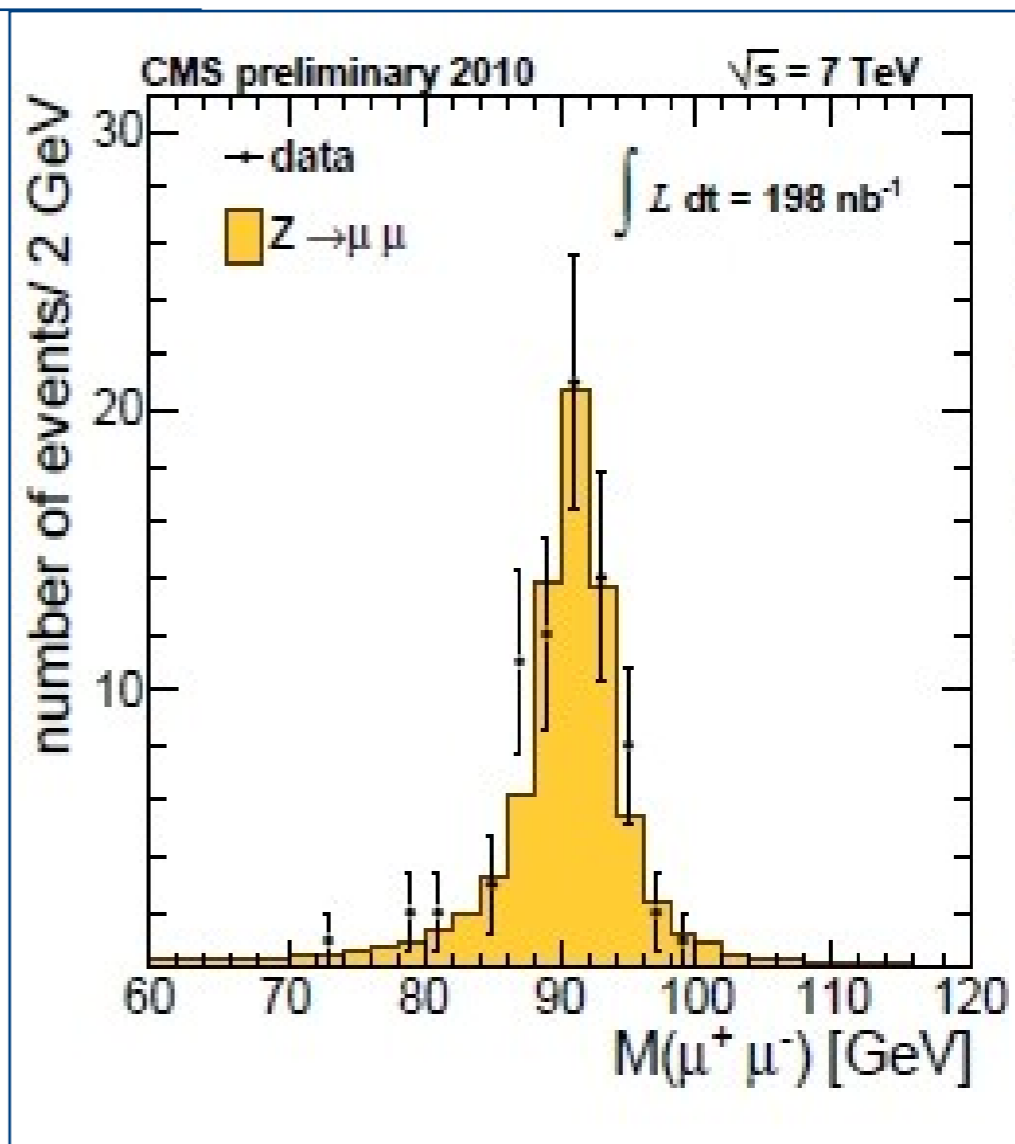
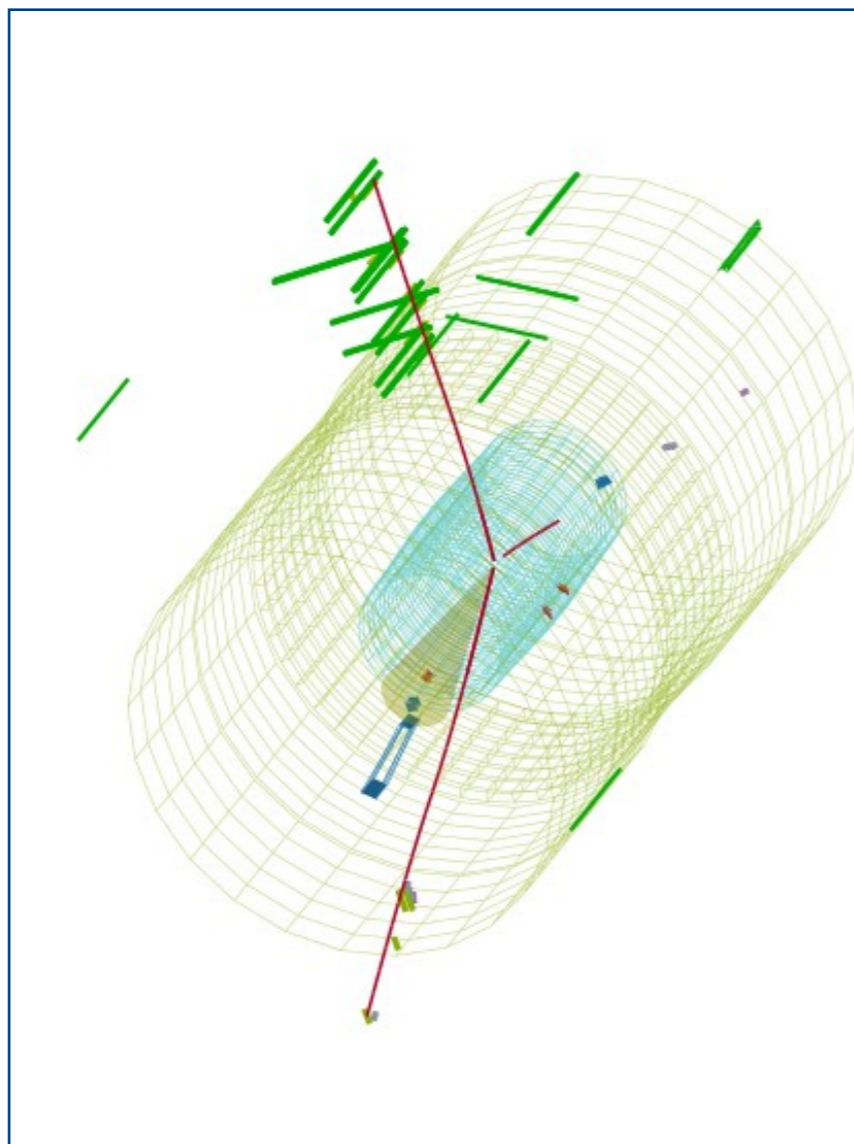


- Lasketaan W^+ ja W^- -bosonien lukumäärien suhde





- Pystymmekö yhdessä tekemään kuvan Z-kandidaattien massojen jakaumasta?



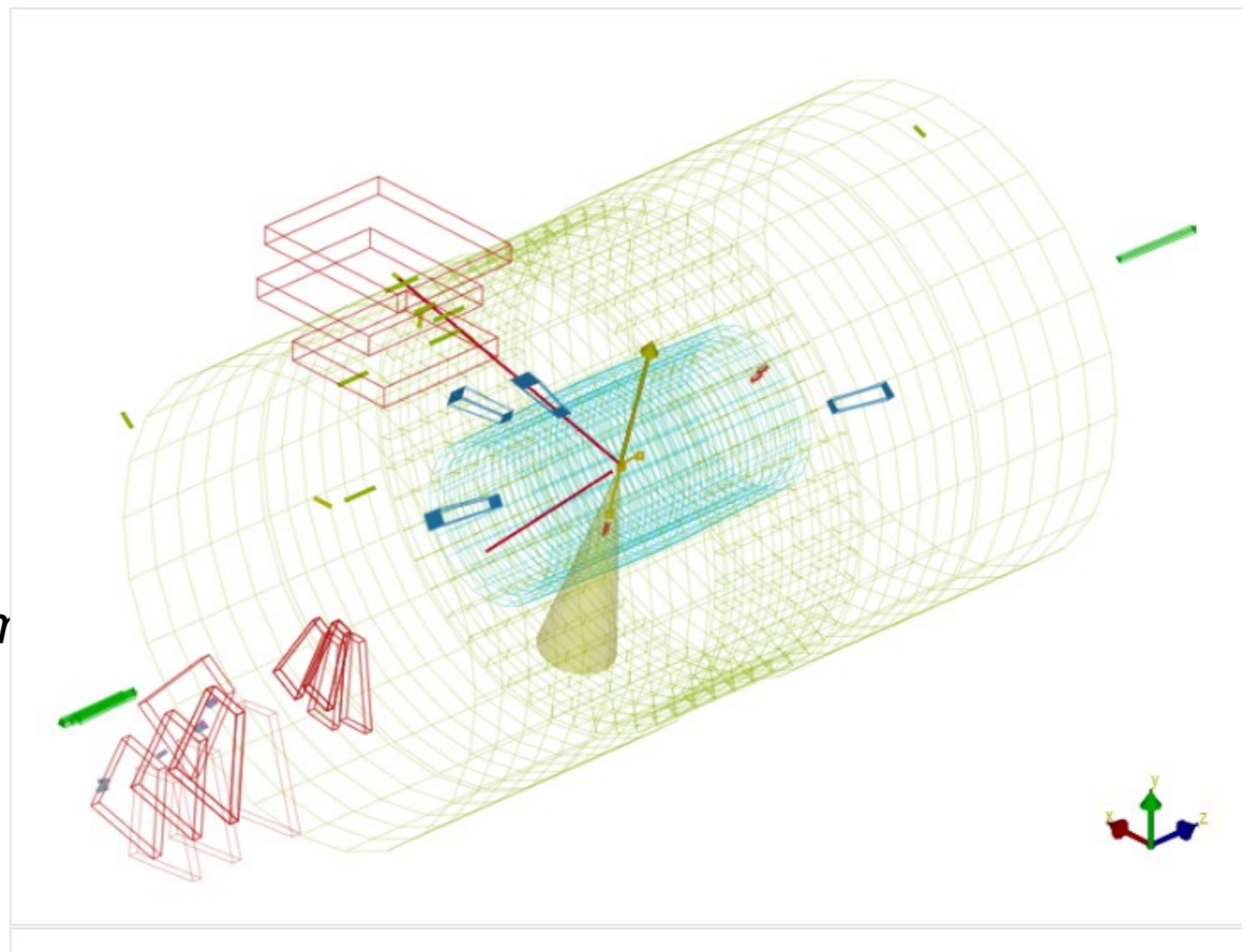
EvNo	E1	px1	py1	pz1	pt1	eta1	phi1	Q1	E2	px2	py2	pz2	pt2	eta2	phi2	Q2	M
128943239	72.89895	13.36098	-26.087	66.74727	29.3095	1.5612	-1.09746	1	37.6277	-10.9181	35.80517	-3.82334	37.3966	-0.10197	1.86677	-1	90.31227



- Löydämmekö harvinaisia $H \rightarrow ZZ$ tapahtumia?
 - $Z \rightarrow e^+e^-$
 - $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$

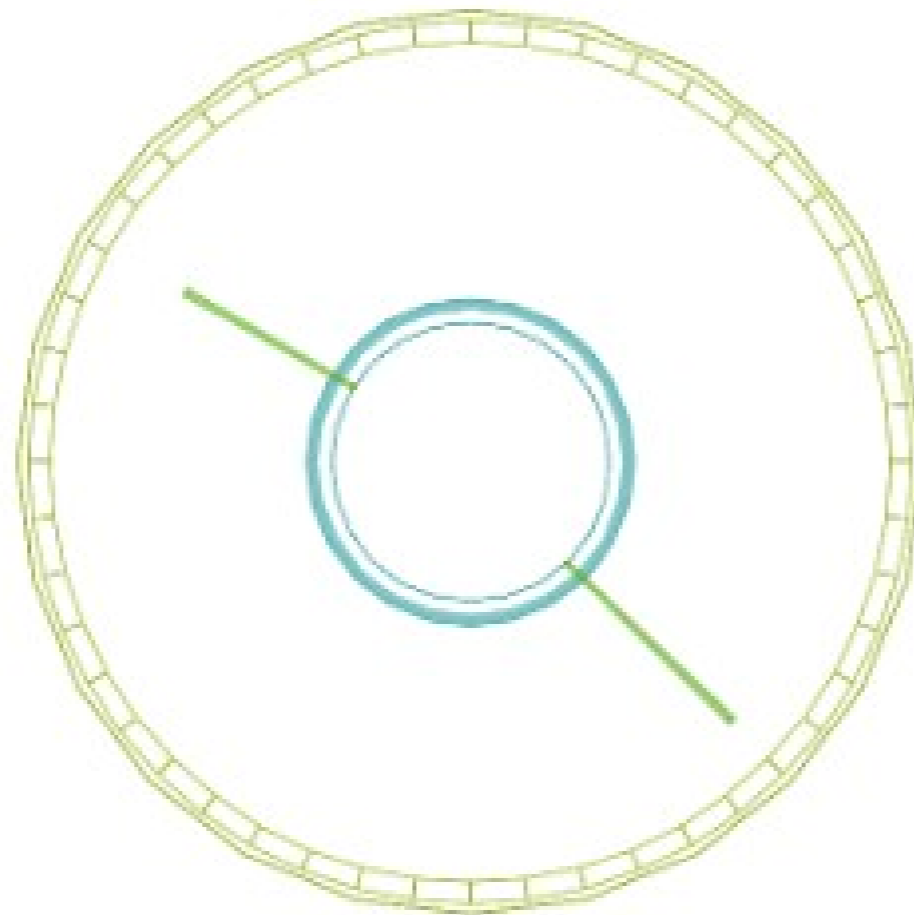
*Voimmeko valikoida
elektronit ja/tai myonit?*

*Miten tapahtumat pitäisi
visualisoida, jotta havaitsen
kiinnostavat jäljet?*





- Löytyykö $H \rightarrow \gamma\gamma$ tapahtumia?



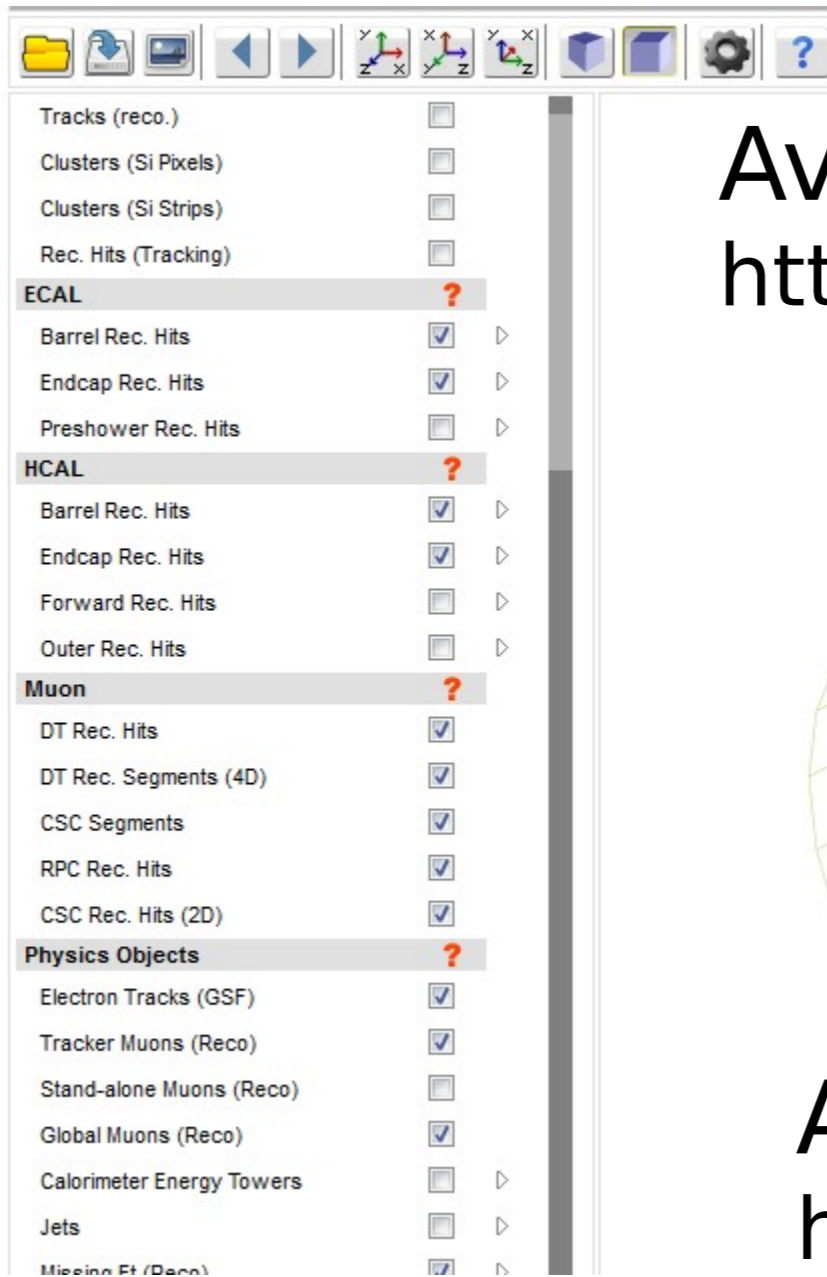
Kuinka havaitsemme fotonit, joista ei jää jälkeä jälki-ilmaisimeen?

Mistä etsimme ja mitä pitäisi näkyä? Mitä ei pitäisi näkyä?

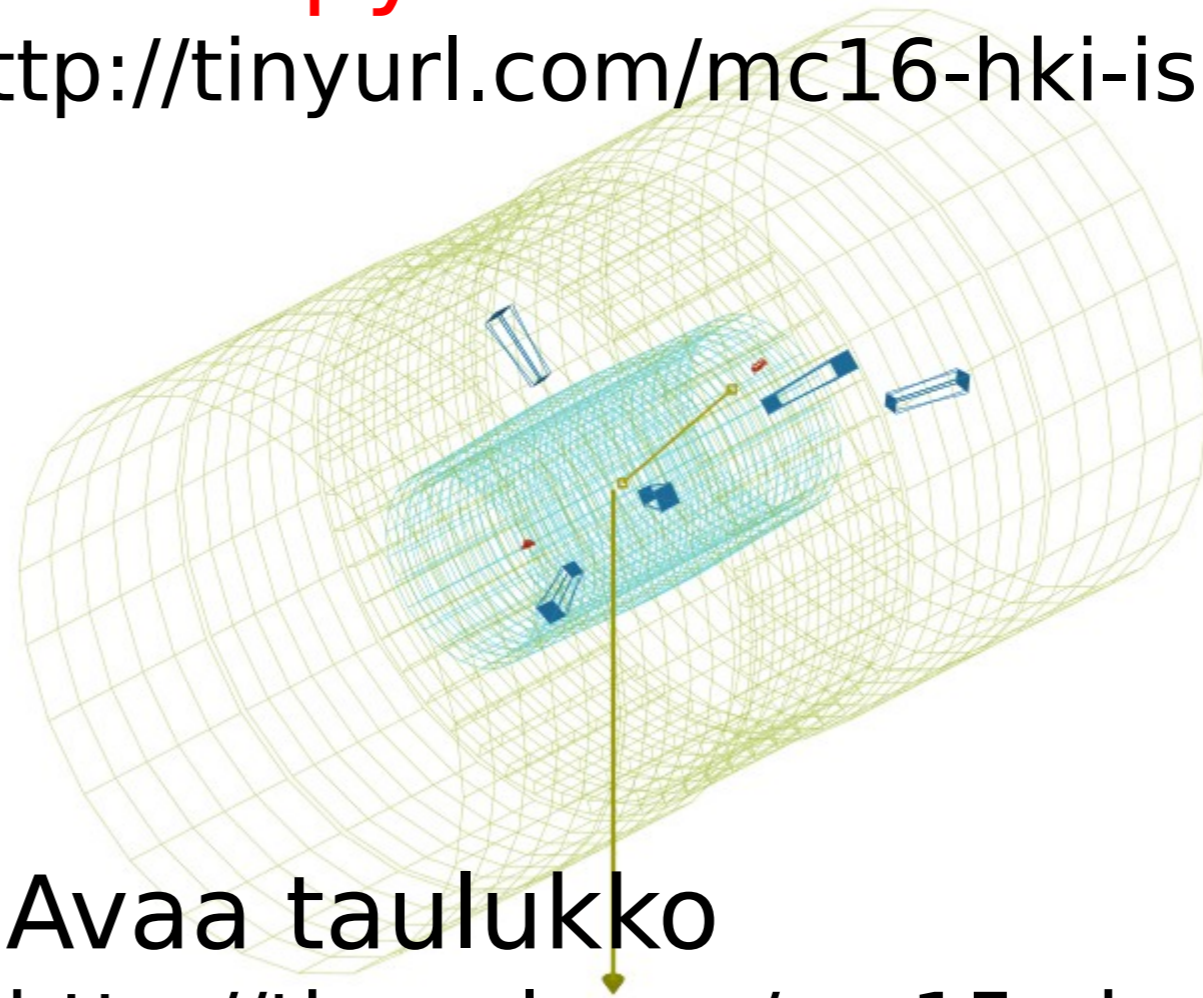


QuarkNet

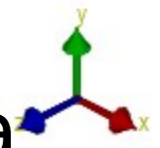
Oikea mittausdata

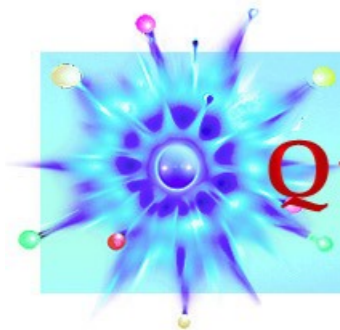


Avaa **iSpy-online** Firefoxissa:
<http://tinyurl.com/mc16-hki-istry>



Avaa taulukko
<http://tinyurl.com/mc15-cima>



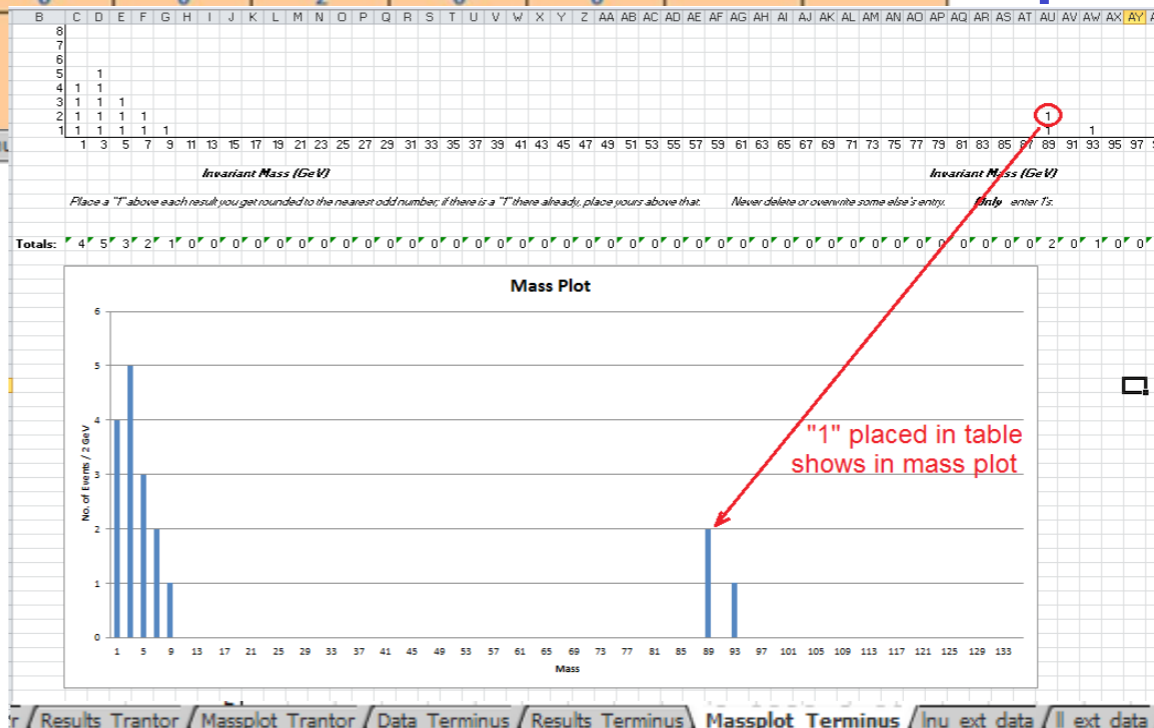


QuarkNet

Luokittele törmävstapahtuma

Dataset	Ord No	Ev No	electron	muon	W+ cand	W- cand	W cand	Z cand	"zoo"	H cand	Mass	Mass-->odd
masterclass_1	1	104488192	1			1						
masterclass_1	2	104883322	1		1							
masterclass_1	3	106817913	1			1						
masterclass_1	4	109019570		1		1						
masterclass_1	5	110202776	1		1							
masterclass_1	6	111147144	1			1						
masterclass_1	7	143928422	1			1						
masterclass_1	8	145942990	1				1				89.40	89
masterclass_1	9	149498854	1				1				93.61	93
masterclass_1	10	150447432		1		1						
masterclass_1	11	151909513										
masterclass_1	12	152676268										
masterclass_1	13	155762440										
masterclass_1	14	157942843										
masterclass_1	15	160027245										
masterclass_1	99	95617291										
masterclass_1	100	96831177										
Sums -->			8	2	2	6	0	2	0	0		

Ratios -->		e/mu	W+/W-
		4	0.33333333





QuarkNet

Muista. . .

- Tämä on tilastollista tutkimusta; kaikkia tapahtumia ei pysty luokittelemaan, eikä tarvitsekaan

**Parin kanssa analysoidaan max 100 törmäystapahtumaa.
Keskustele ohjaajien kanssa. Lopuksi on yhteinen yhteenveto.**

