



**Vilnius
universitetas**



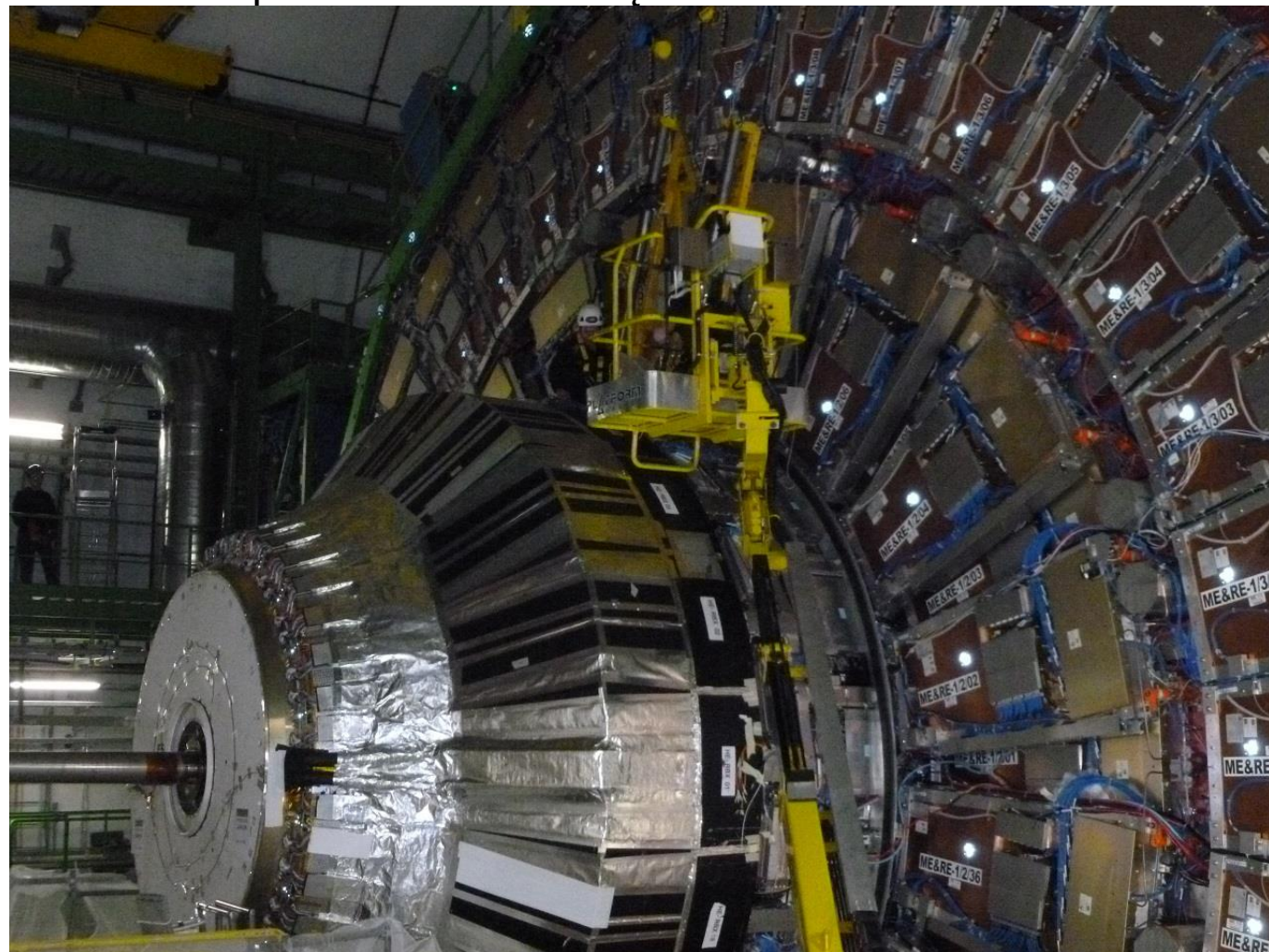
Detektoriai – daleles registruojantys prietaisai

A. Juodagalvis

Teorinės fizikos ir astronomijos institutas



CERN “Kompaktiškas” miuonų solenoido detektorius



TURINYS

1. Kas yra dalelių detektorius
2. Detektorių pavyzdžiai ir jais atlikti matavimai
3. Protonų susidūrimo detektorius –
CERN Kompaktiškasis miuonų solenoidas (CMS)

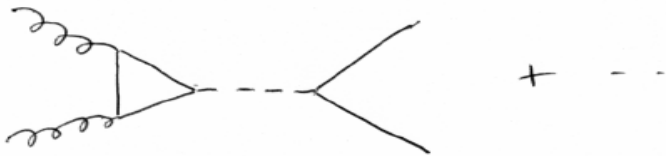


Teorija ↔ Statistika ↔ Eksperimentas

Teorija (modelis, hipotezė):

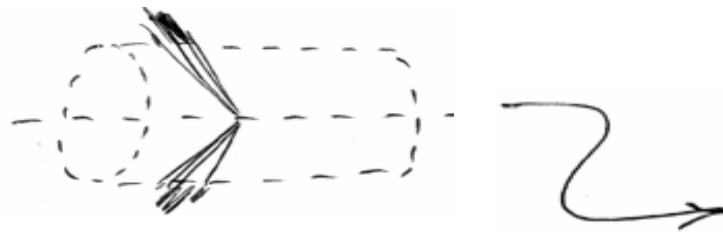
a) $E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$

b) $\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i \bar{\Psi} \not{D} \Psi + \dots$

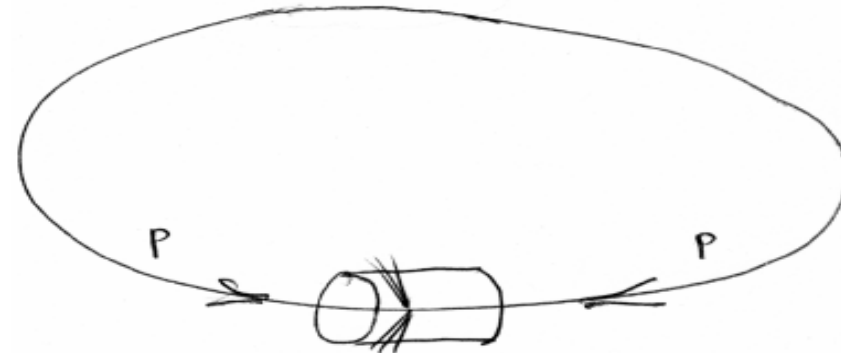


$\sigma = \frac{G_F \alpha_S^2 m_H^2}{288 \sqrt{2}\pi} \times \dots$

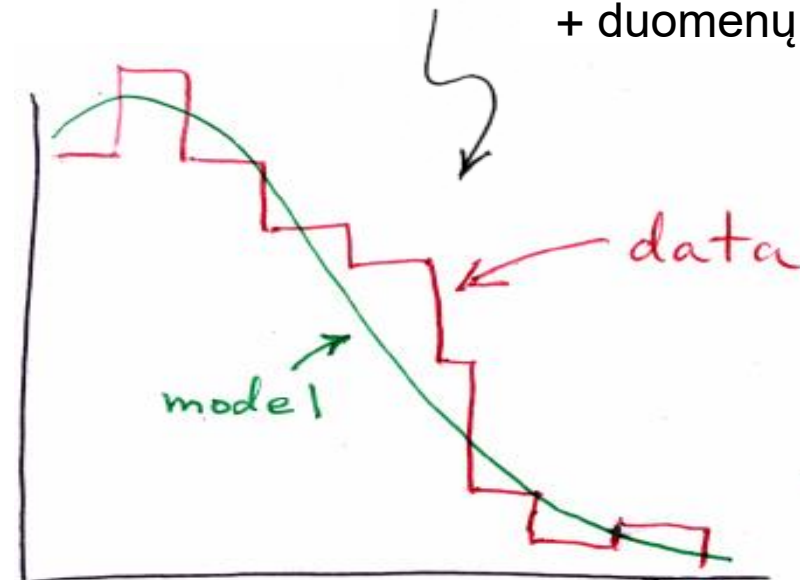
+ detektoriaus ir registravimo modeliavimas



Eksperimentas:



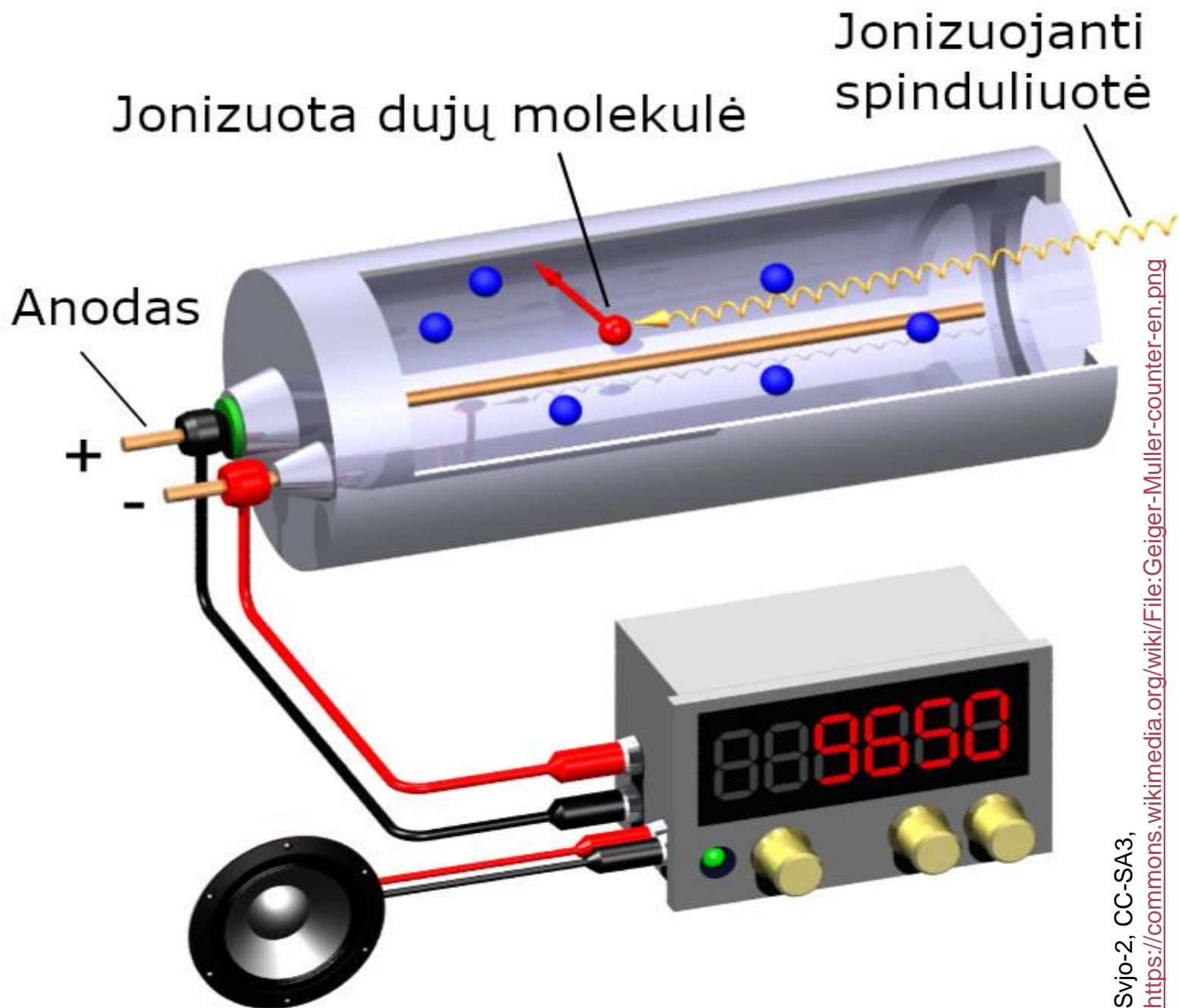
+ duomenų rinkimas



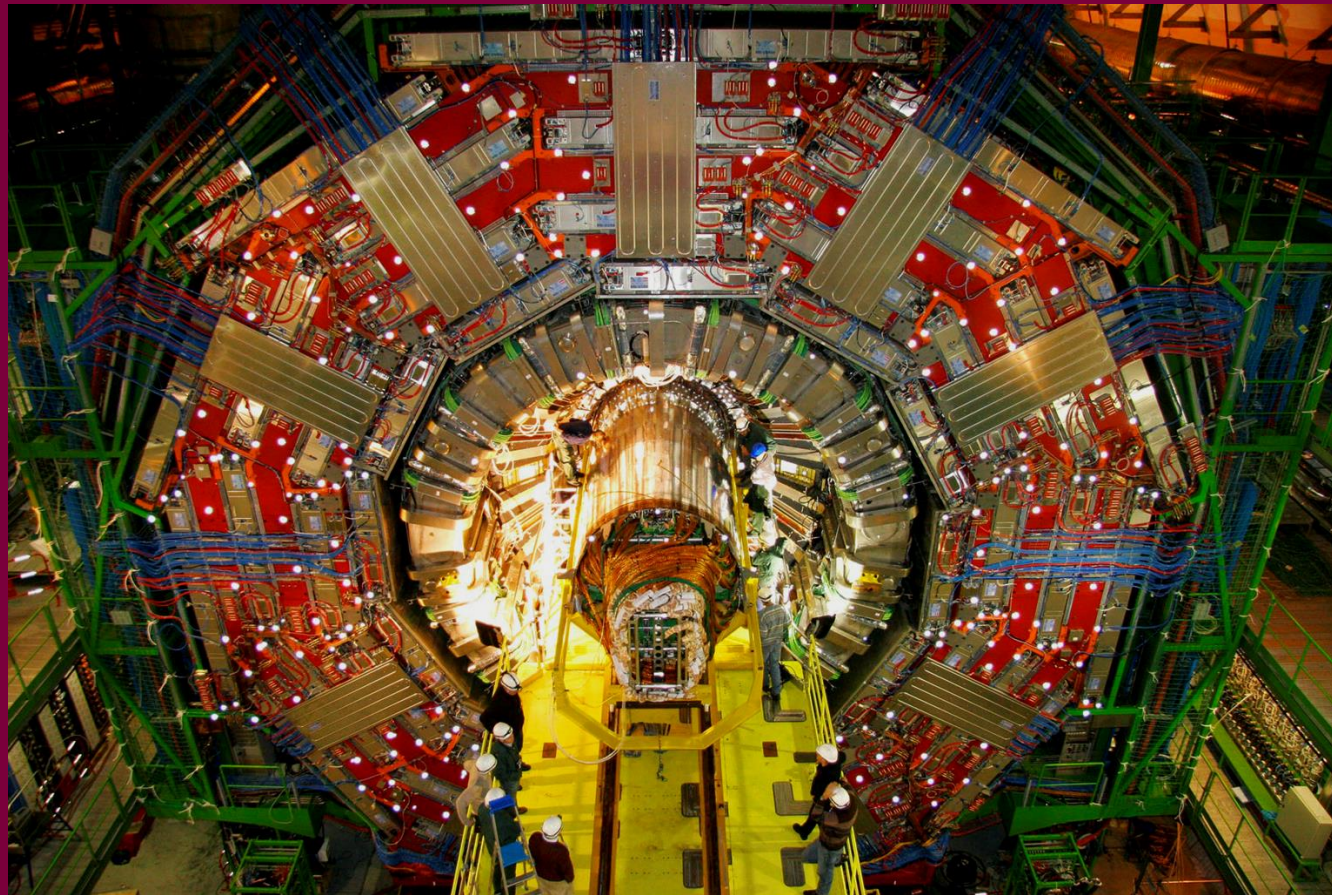
Kas yra detektorius?

Detektorius (lot. *detector* – atidengėjas) – tai prietaisas ar jų sistema, naudojama objektui, spinduliavimui, cheminiam junginiui rasti ar registruoti, jo energijai išmatuoti

Geigerio – Miulerio skaitiklis



Detektoriaus komponentai



Keli pagrindiniai elementai

1. Pasirenkame terpę arba objektą, kurio būsenos kitimą stebėsime
2. Įsitikiname, kad terpė yra jautri mus dominančiam procesui arba reiškiniui
3. Sukuriame duomenų registravimo strategiją

Keli pavyzdžiai



■ Pripūstas oro balionas – aštrių daiktų aptikimo prietaisas

Jeigu sprogs, jį palietė aštrus daiktas!

■ Žemės paviršiaus spalvos leidžia įvertinti klimatinės sąlygas

Spalvos keičiasi nuo šalnos, lietaus!

■ Mobilaus telefono kamera

Gaunamas vaizdas nusako atkeliaujančių fotonų vidutinę energiją!

Kosminių spindulių tyrinėjimo istorija prasidėjo nuo elektroskopo

Vienas pirmųjų elektroskopų (elektrinio krūvio matavimo prietaisų) pavaizduotas piešinyje

Viename adatos gale buvo metalinis rutuliukas (žalias), kuris įprastomis sąlygomis galėjo liesti kitą metalinį rutuliuką (raudoną)

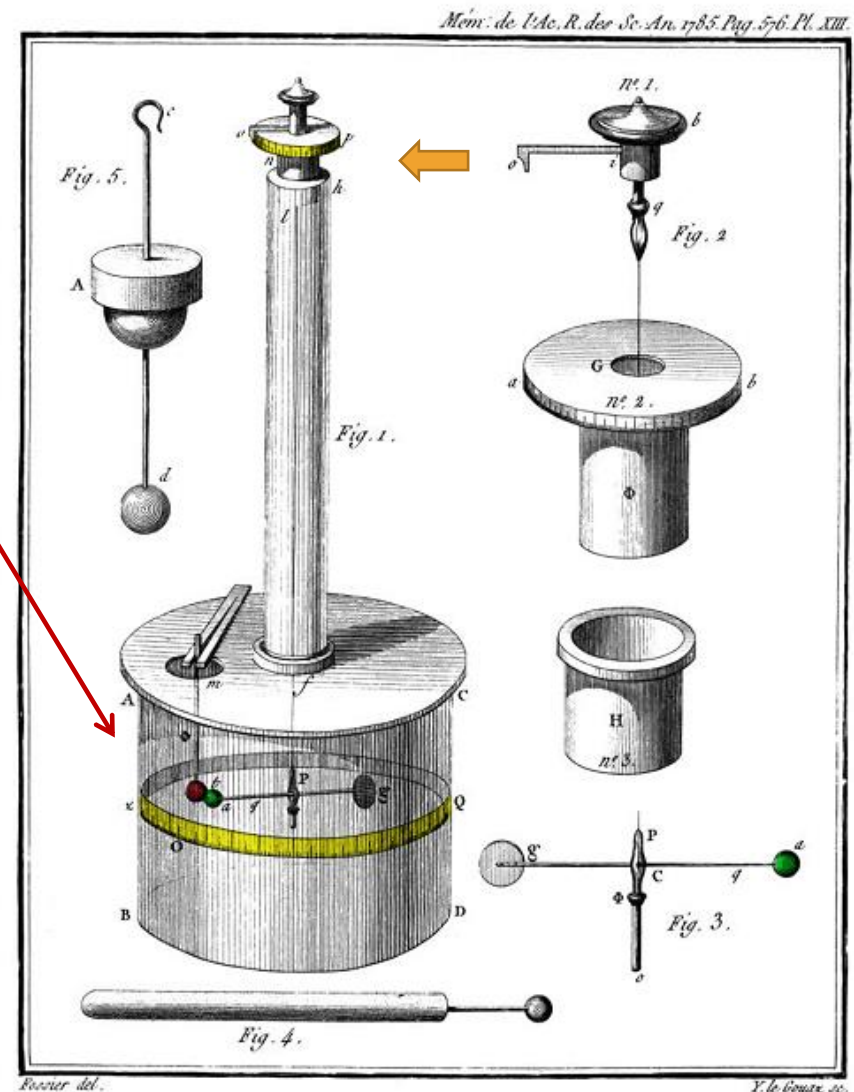
Raudonam rutuliukui įgijus elektrinį krūvį, dalis jo pareidavo į žalią rutuliuką, ir jis atšokdavo pasukdamas vielutę

Sužymėtos padalos (geltona) leisdavo kiekybiškai įvertinti posūkio kampą.

1785 metais Kulonas (Coulomb) išvedė krūvių sąveikos jėgos formulę

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Instrumentas išsikraudavo savaime...



Iš kosmoso ateinanti radiacija

Atradus radiaciją, elektroskopas buvo naudojamas įvertinant jos intensyvumą

1911 m. Domenico Pacini atrado, kad radiacija po vandeniui yra silpnesnė nei vandens paviršiuje

1912 m. Victor Hess išmatavo radiacijos lygį skirdamas oro balionu

Kylant aukštyn, radiacijos lygis didėjo

1936 m. gavo Nobelio fizikos premiją



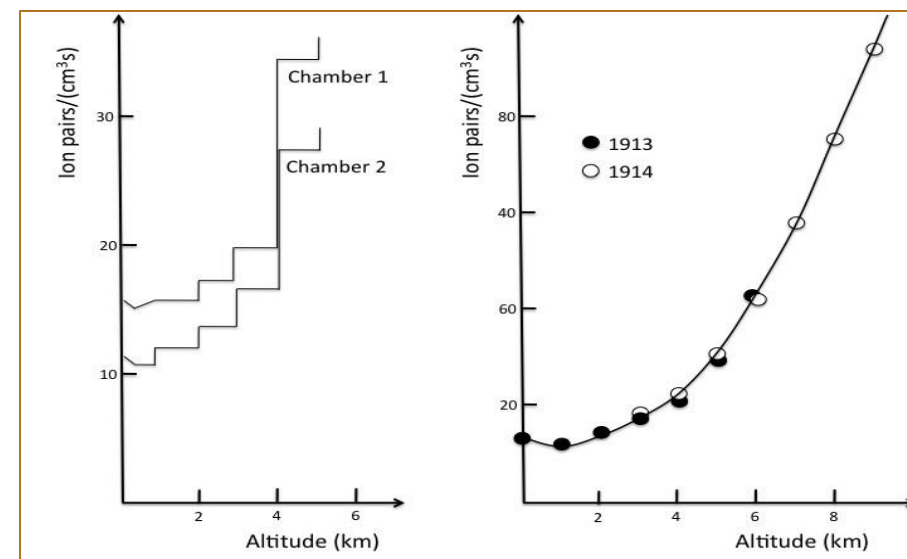
https://airandspace.si.edu/collectio-n-objects/detector-electroscope-v-hess/nasm_A19910023000

Wulf'o konstrukcijos elektroskopas



V.Hess

W.Kolhörster



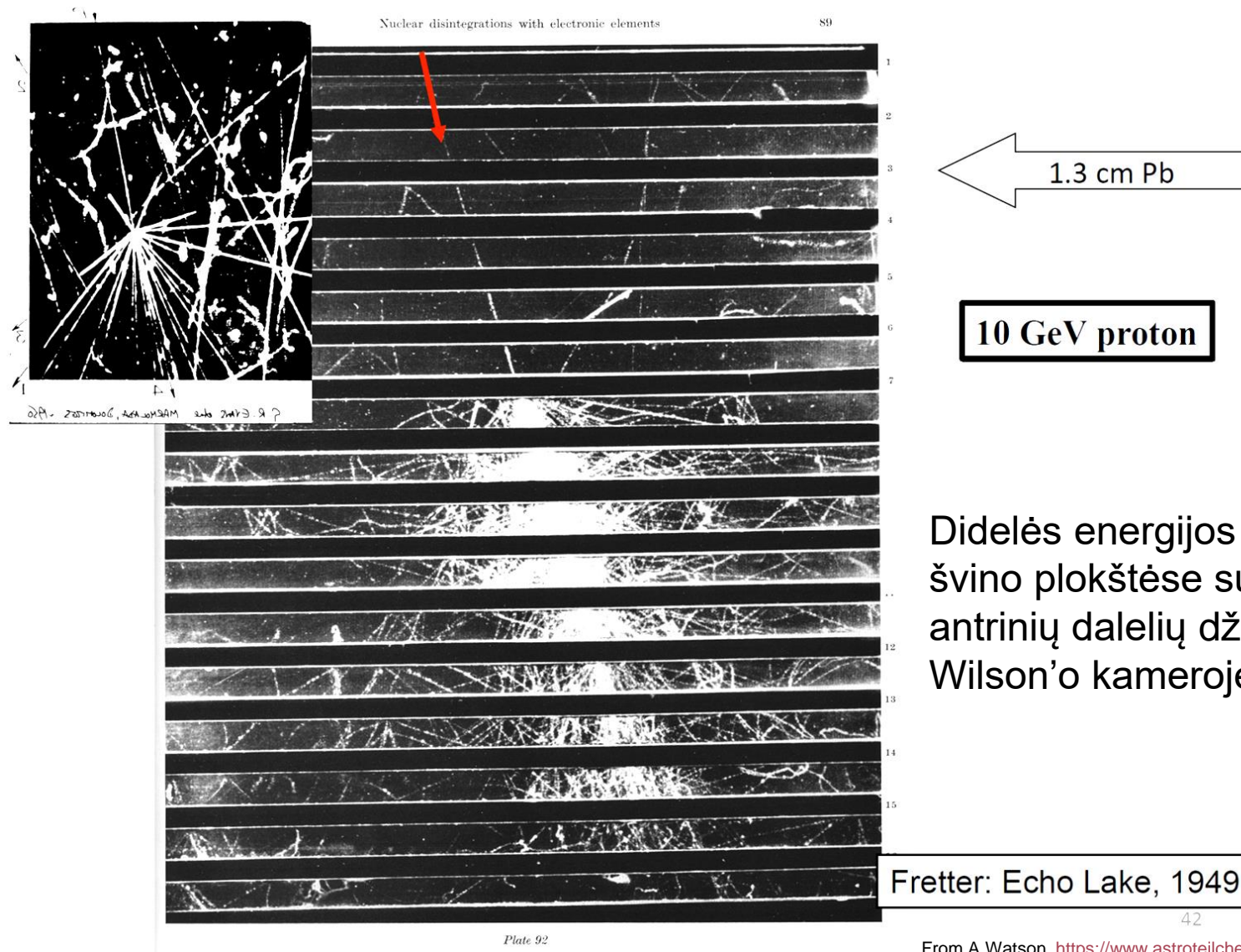
V.F Hess draugija,

A. de Angelis, CC BY-SA 3.0,

<https://phys.org/news/2012-07-century-discoveries-physicists-celebrate.html>

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:HessKol.jpg>

Protono suirimas



← 1.3 cm Pb

10 GeV proton

Didelės energijos protonas švino plokštėse sukuria antrinių dalelių džeta, stebimą Wilson'o kameroje

Fretter: Echo Lake, 1949

Antrinių dalelių kaskados

Kai kosminis spindulys trenkiasi į oro molekulės branduolį, susidaro daugybė antrinių dalelių.

1936 m. tyrinėjant kosminius spindulius buvo atrastas miuonas

Kosminių spindulių intensyvumas

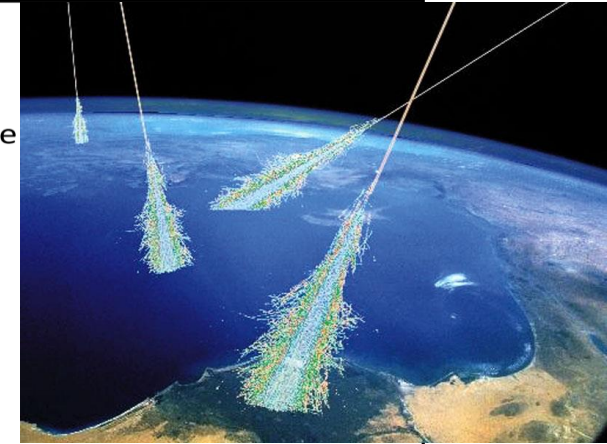
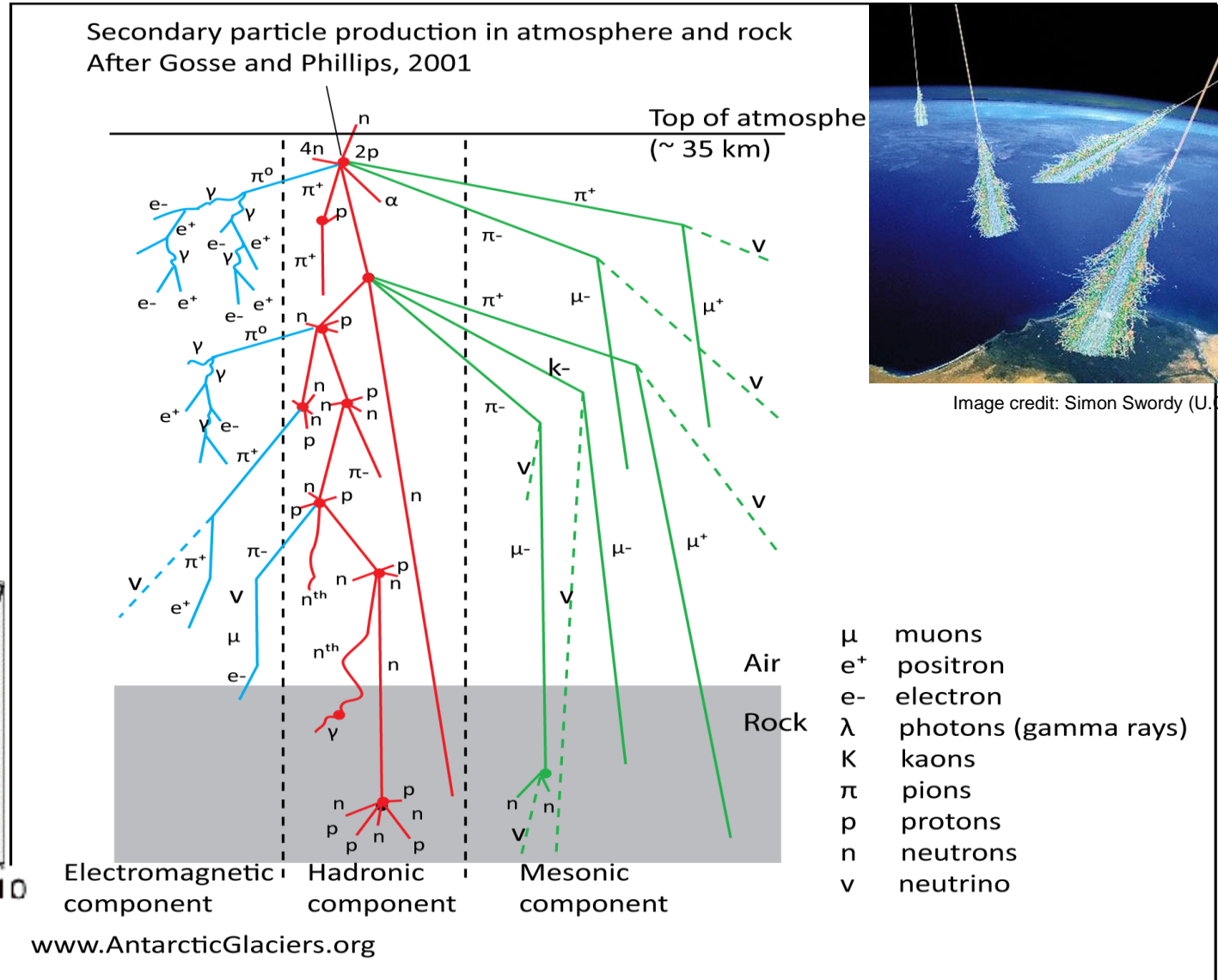
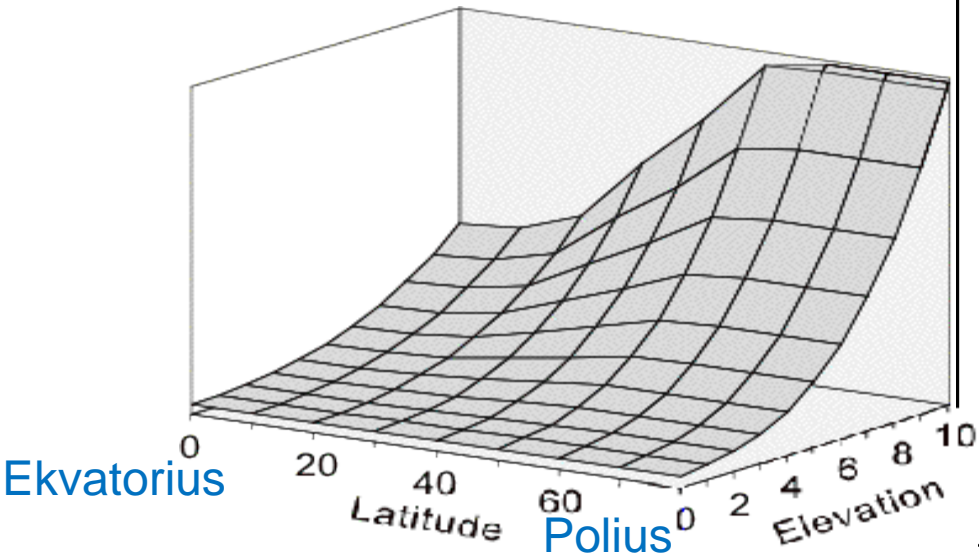
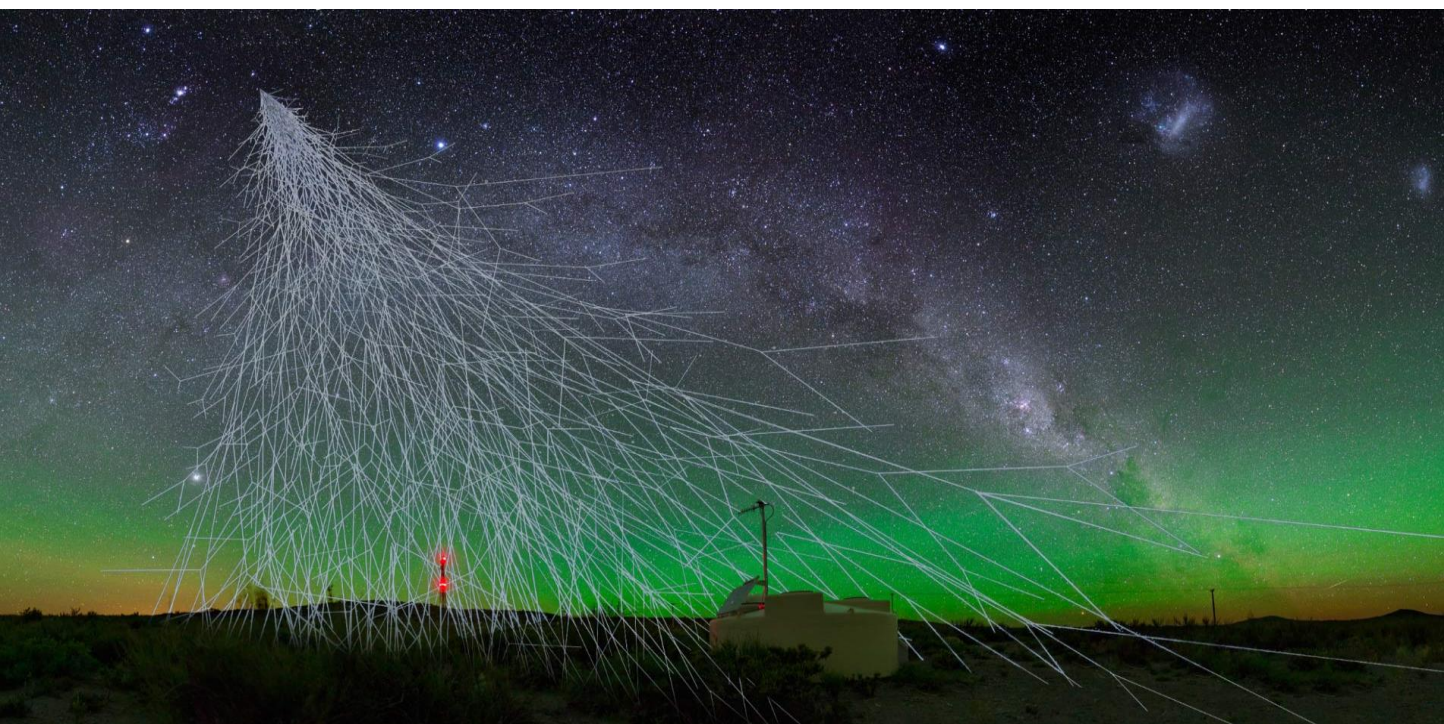


Image credit: Simon Swordy (U.Chicago), NASA)

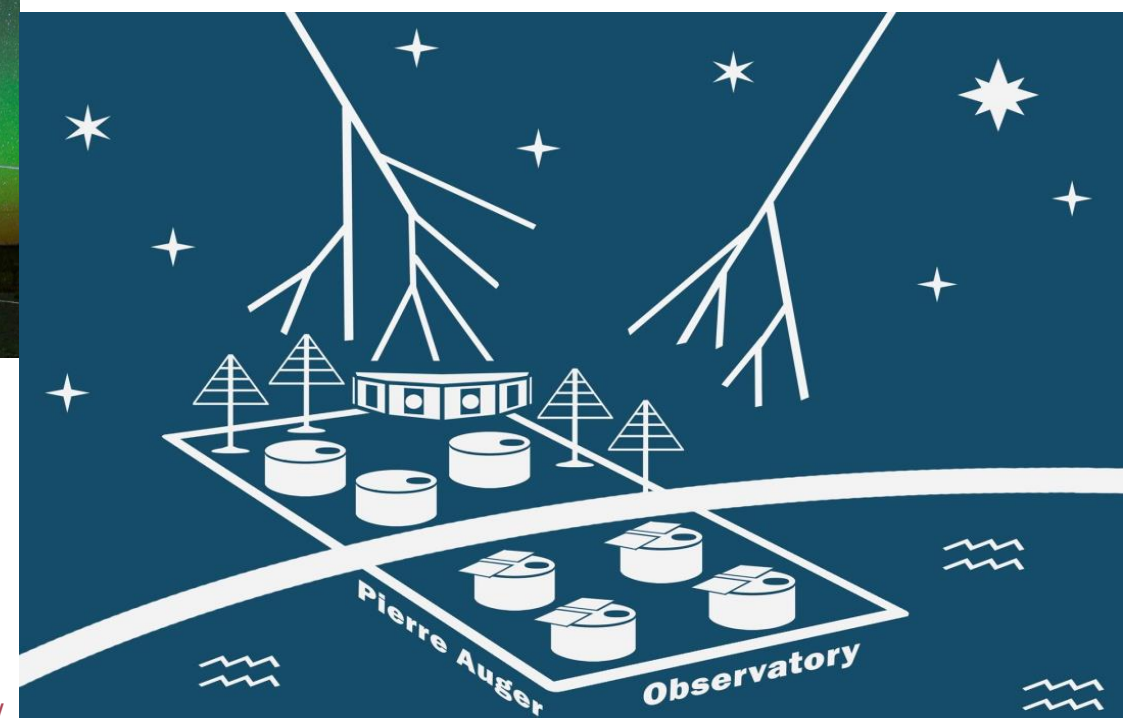


Iš kosmoso atskrieja dalelės:

- energija apie 10^6 TeV
- srautas: 1 dalelė/1 km²/100 metų

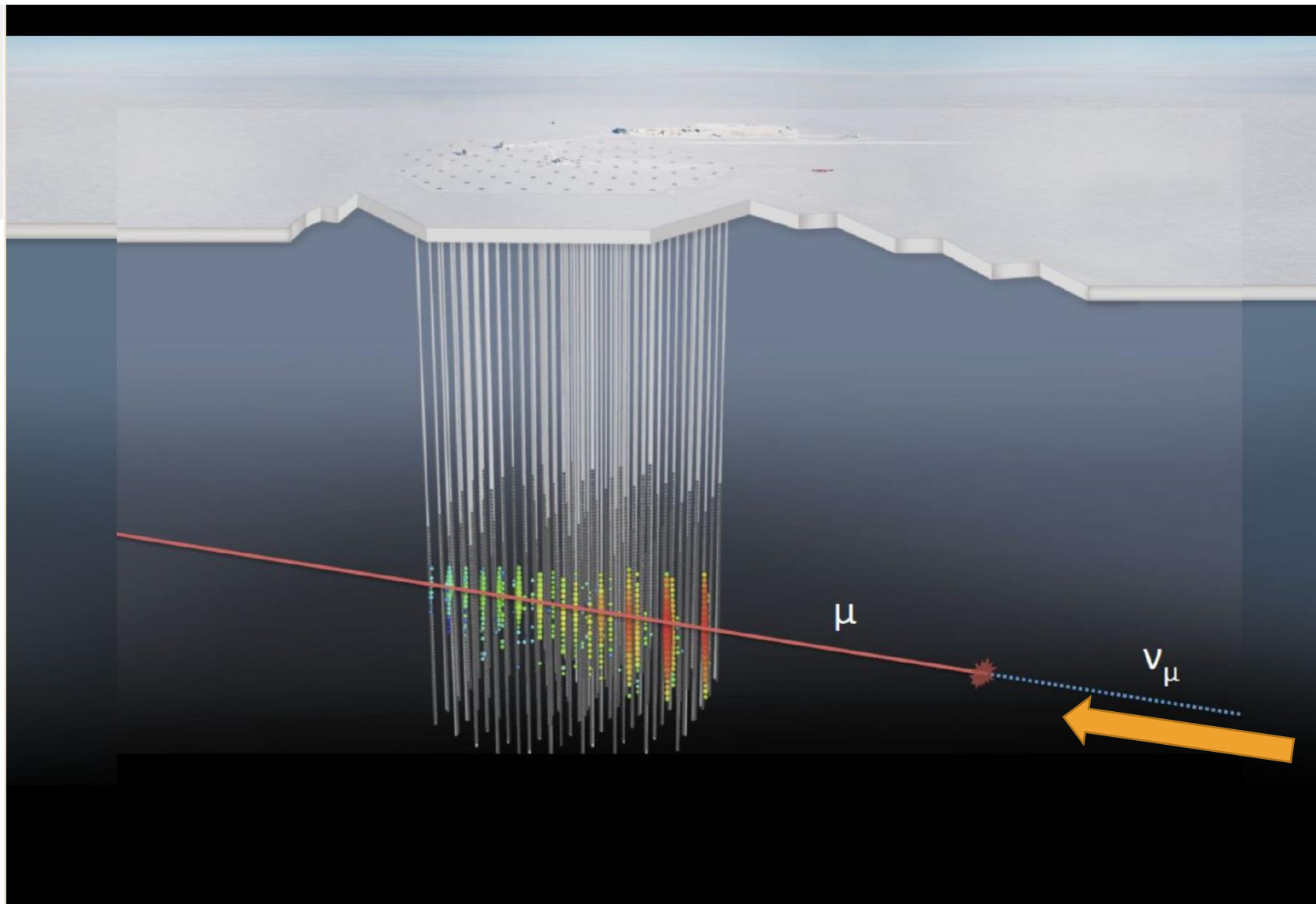
- Greitaveikės foto-kameros stebi oro švytėjimą ultravioletinių spindulių spektre
- Vandens talpos gaudo antrines daleles žemės paviršiuje
- „Detektorius“ – apie 3000 km² ploto

<https://www.auger.org/>

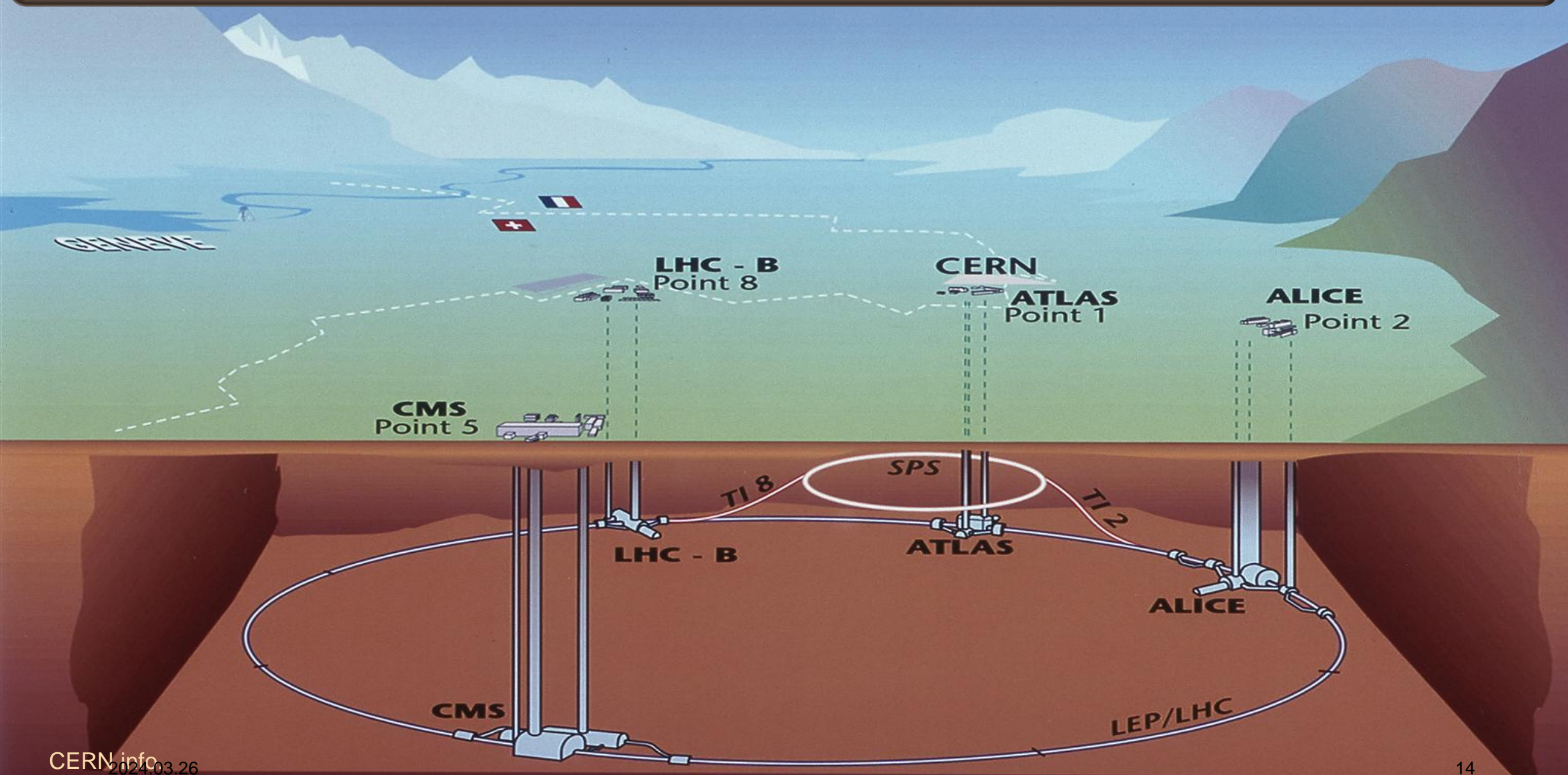




IceCube: aktyvi terpė – 1 kubinis kilometras natūralaus ledo 1.45 km gylyje



CERN didieji eksperimentai



ATLAS detektoriaus vidus

Detektoriaus matmenys:

- * ilgis – 46m
- * skersmuo – 25m
- * sveria 7000 tonų
- * laidų – apie 3000km

Dokumentinis filmas
„Dalelių karštinė“
(„Particle Fever“)
pasakoja apie ATLAS
eksperimentą ir Higso
bozono atradimą



CMS detektorius

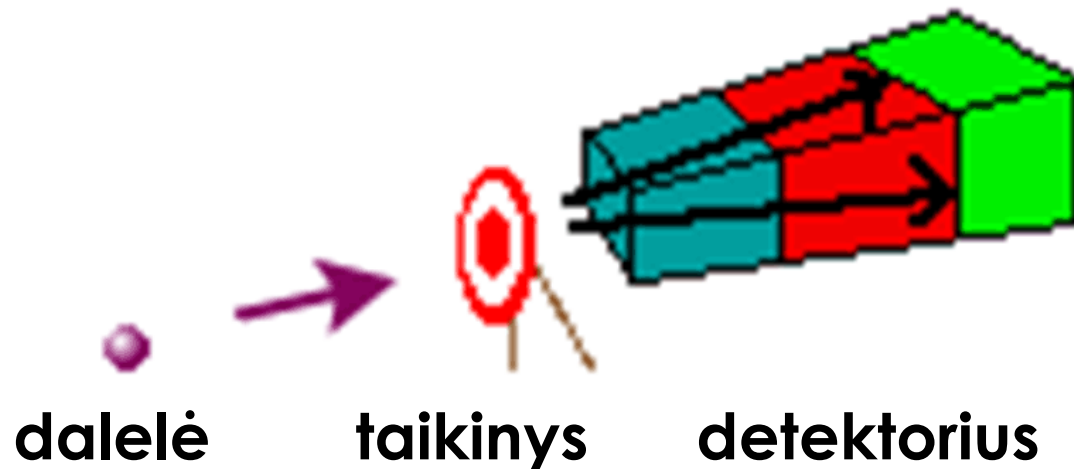
Detektoriaus matmenys:

- * ilgis – 21.6m
- * skersmuo – 15m
- * sveria 14000 tonų

Nuotrauka:
Technikai keičia CMS
juostinį detektorių

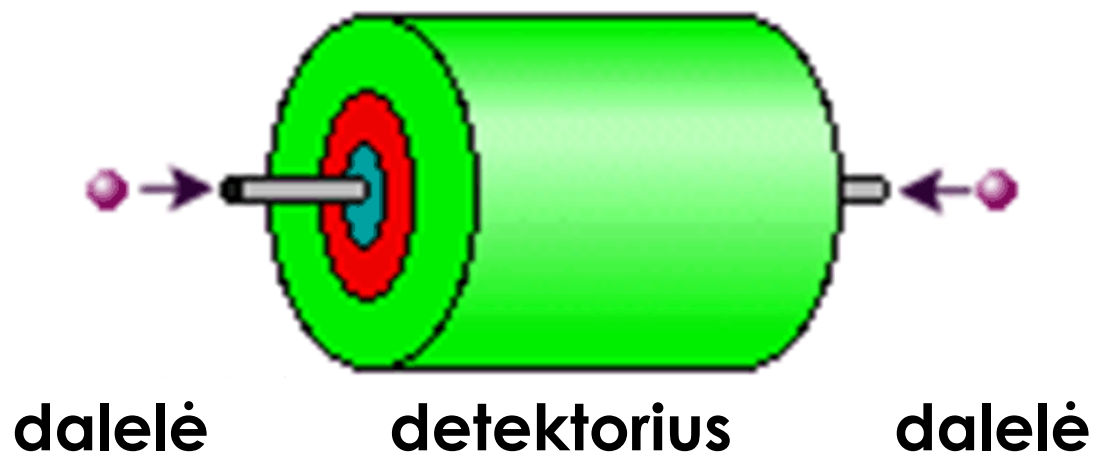


Detektorių formos



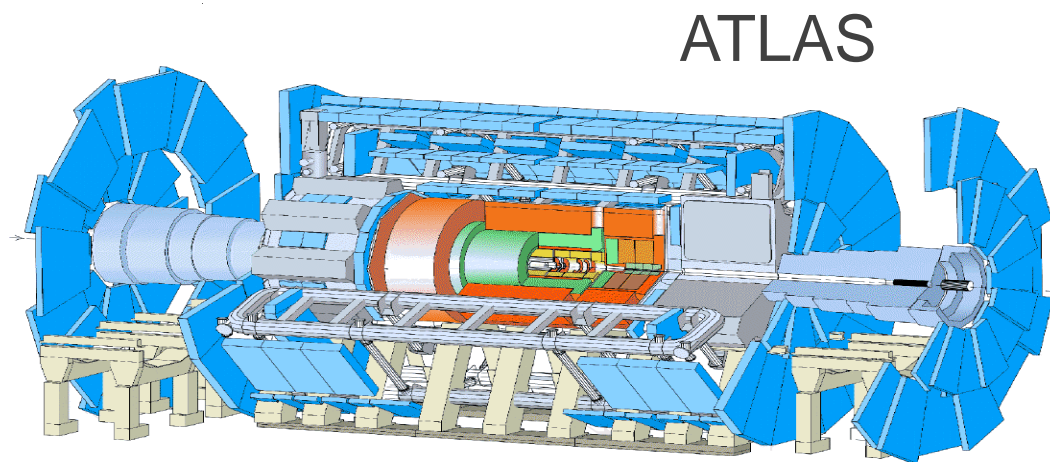
Nejudančio taikinio eksperimentuose dauguma susidarančių dalelių skrieja viena kryptimi – statomi kūginiai detektoriai

- * Atskirais atvejais stebima įvairiais kampais
- pvz., branduolys buvo atrastas pastebėjus atšokančias alfa daleles!

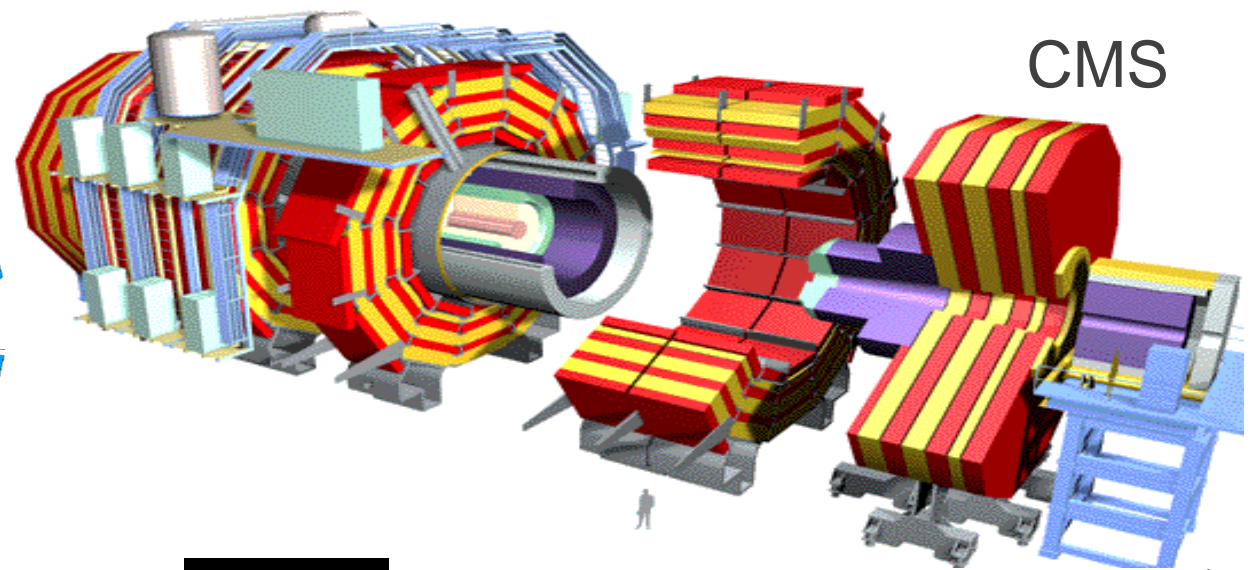


Priešpriešinių susidūrimų eksperimentuose dalelės skrieja visomis kryptimis, todėl detektoriai būna sferiški arba cilindro formos

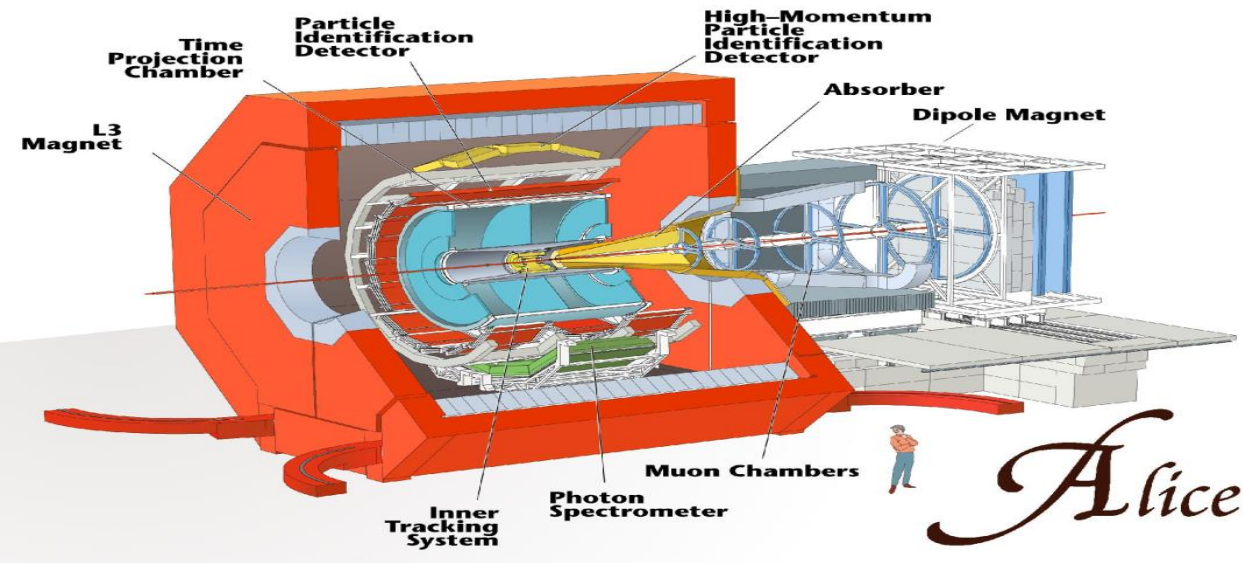
Keturi didieji eksperimentai



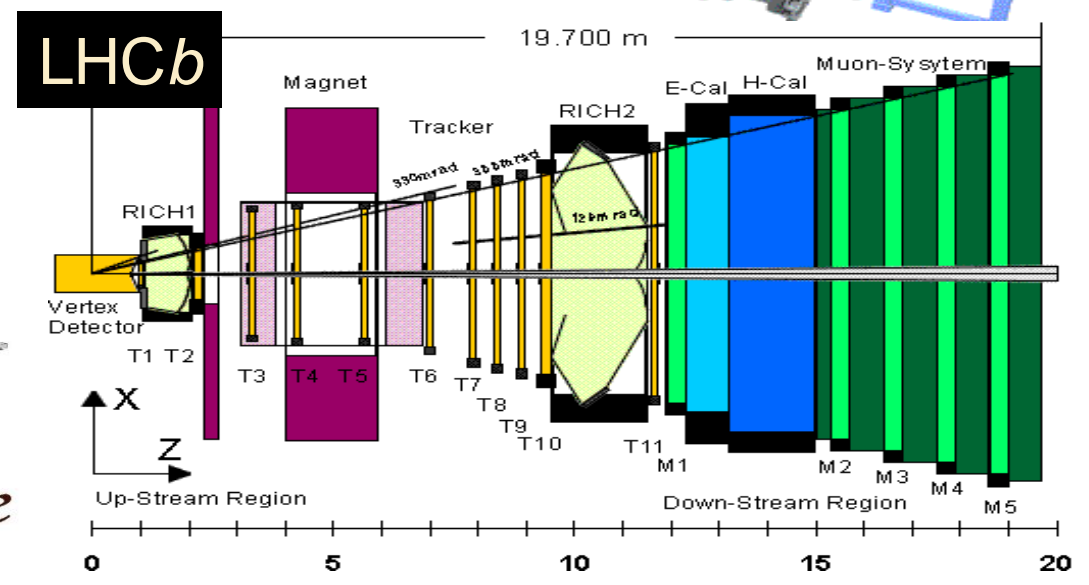
ATLAS



CMS



Alice



Dalelių medžioklė

Vilniaus
universitetas

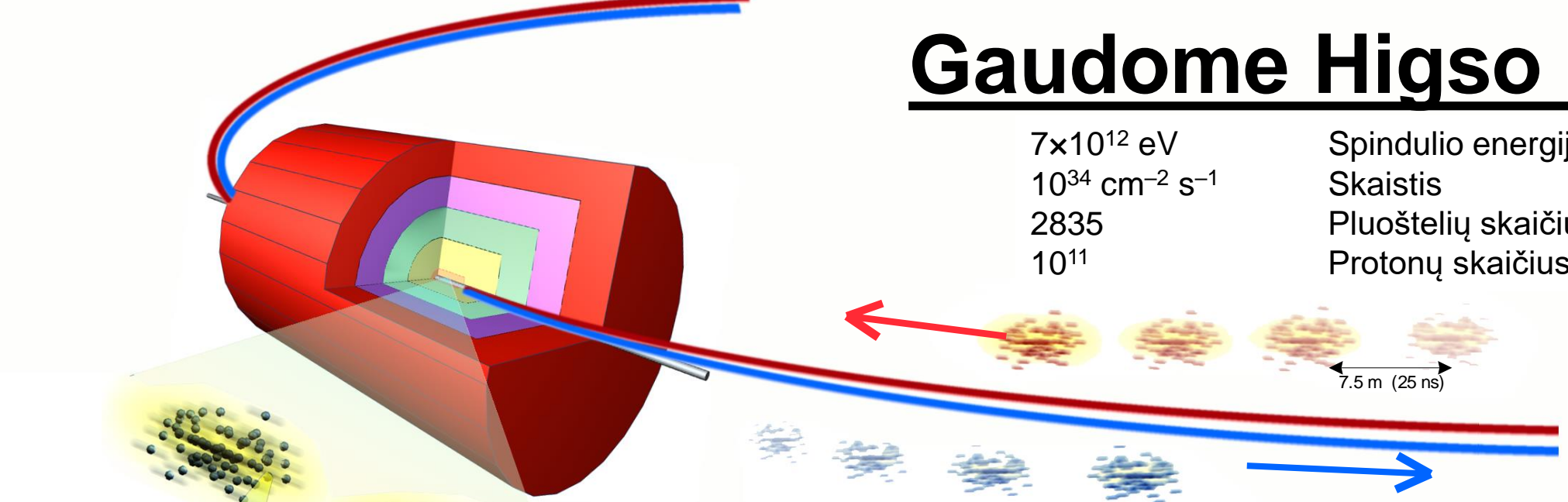


K. Mirziashvili (CERN, CMS)

Gaudome Higso bozoną

7×10^{12} eV
 10^{34} cm⁻² s⁻¹
 2835
 10^{11}

Spindulio energija
 Skaistis
 Pluoštelių skaičius spindulyje
 Protonų skaičius pluoštelyje



7 TeV Proton Proton
 susiduriantys pluošteliai

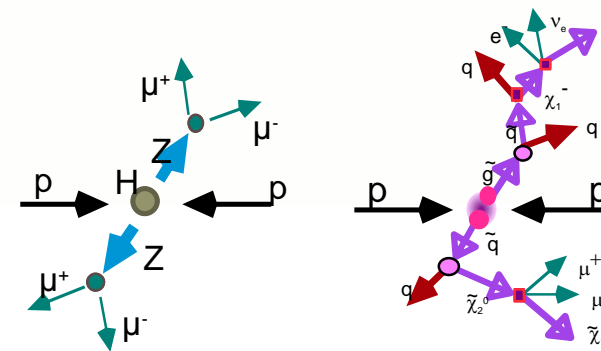
Pluoštelių susidūrimų dažnis
 40,000,000 kartų per sekundę

Protonų susidūrimų dažnis
 1,000,000,000 kartų per sekundę

Partonų susidūrimai

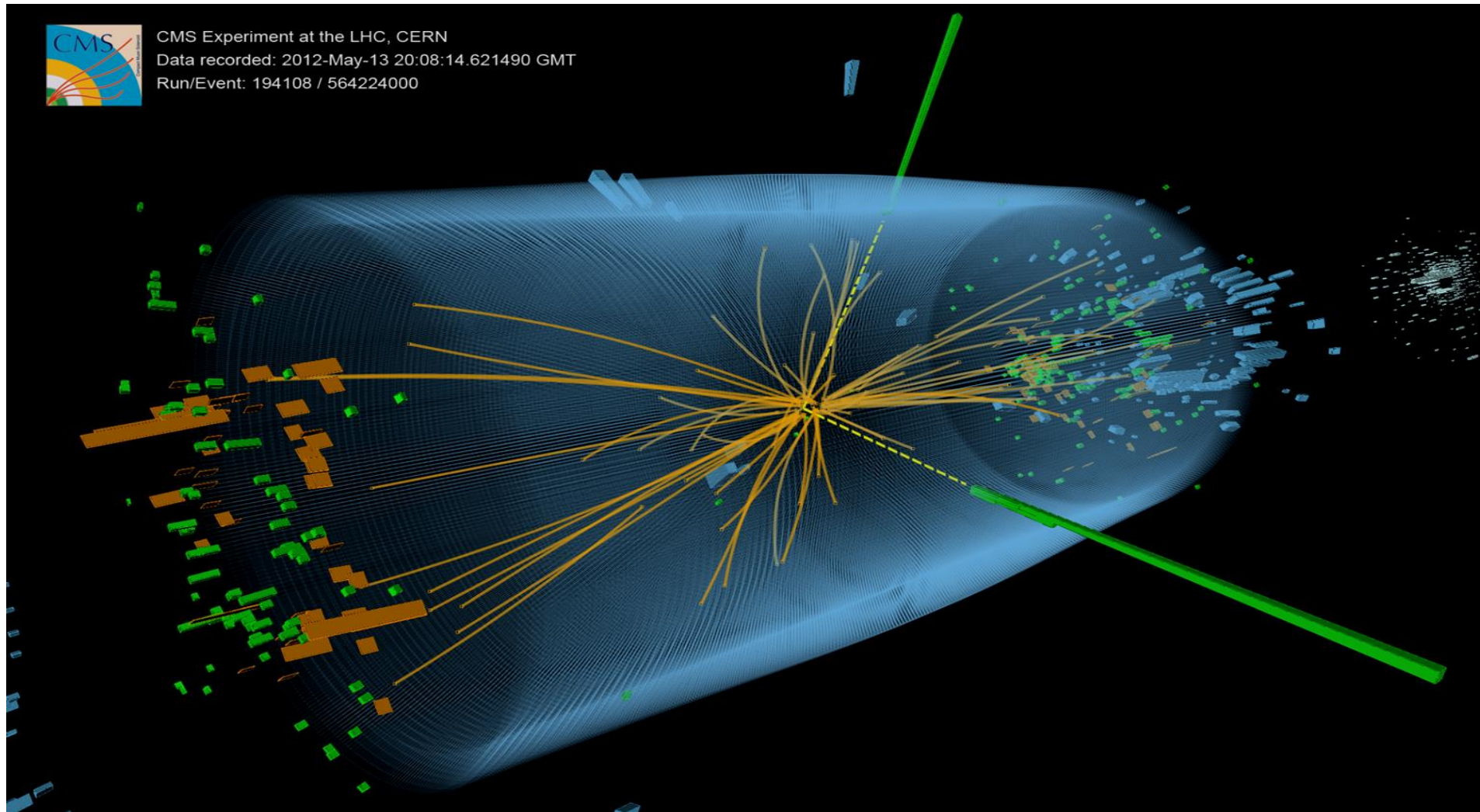
Įdomių dalelių susidarymo dažnis 10^{-5} Hz
 (Higso bozonas, SUSY dalelės, ir pan.)

Projektiniai įverčiai!



Reikia rasti 1 įdomų įvykį tarp 100,000,000,000,000!

Higso bozono skilimas į du fotonus



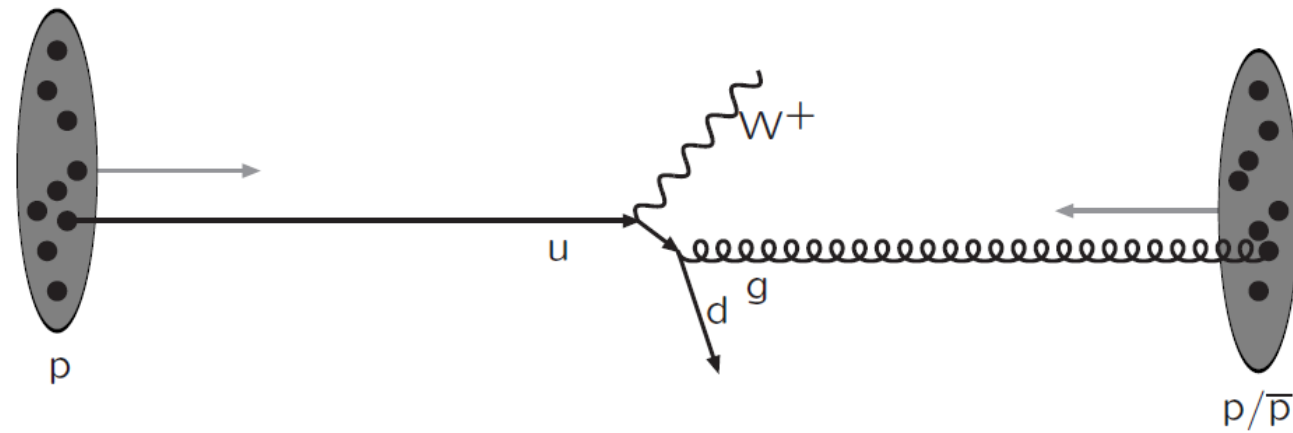
Įvykio struktūra - 1

Warning: schematic only, everything simplified, nothing to scale, ...



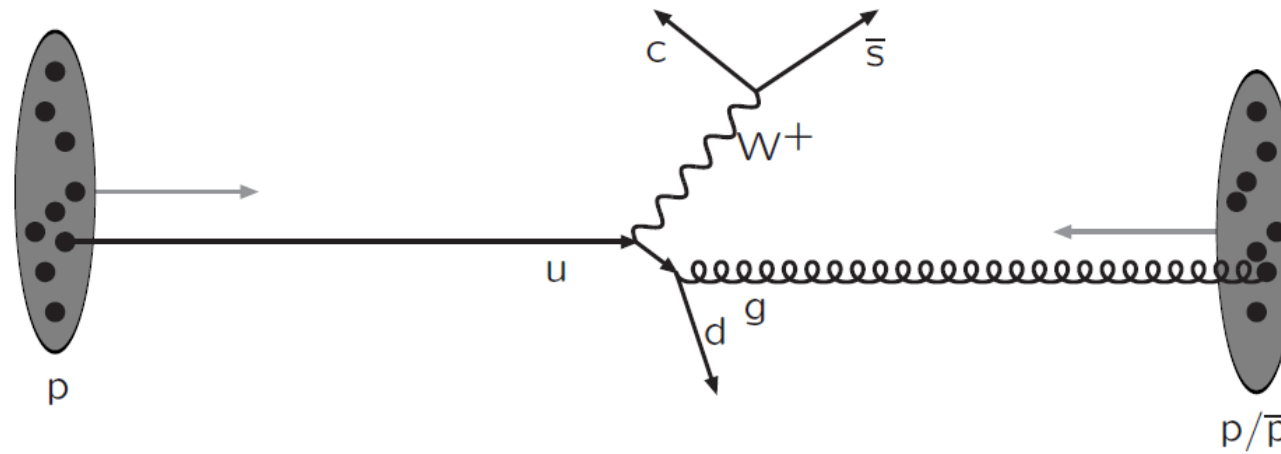
Incoming beams: parton densities

Įvykio struktūra - 2



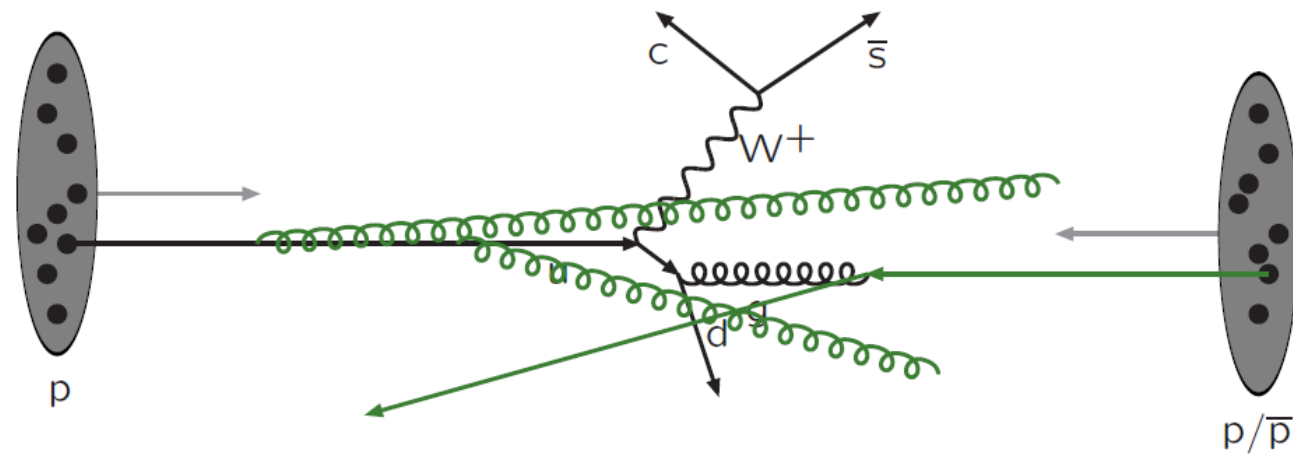
Hard subprocess: described by matrix elements

Įvykio struktūra - 3



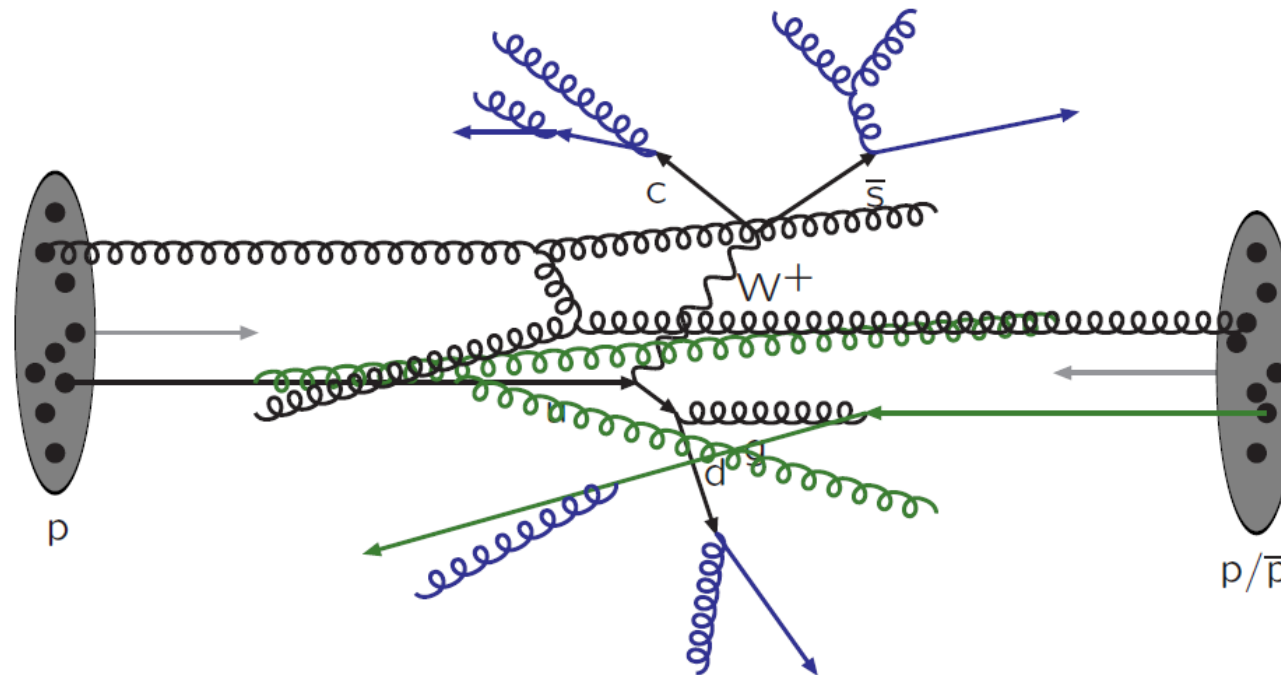
Resonance decays: correlated with hard subprocess

Įvykio struktūra - 4



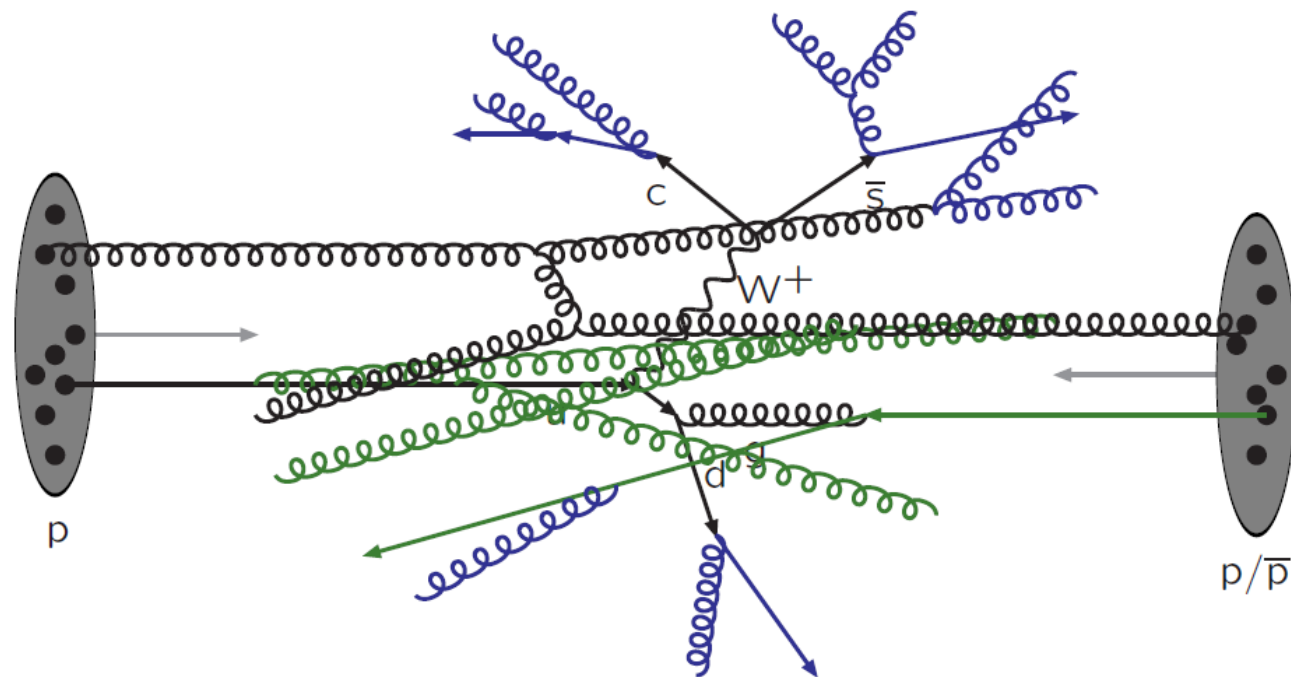
Initial-state radiation: spacelike parton showers

Ķvykio struktūra - 6



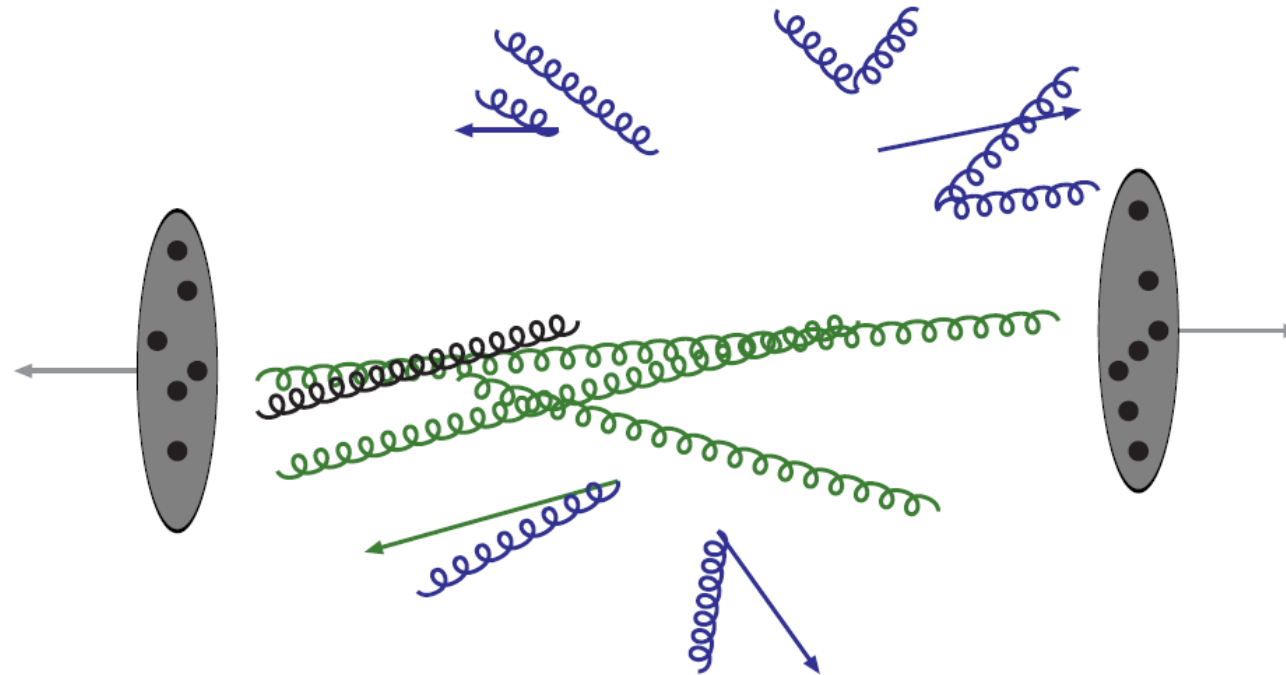
Multiple parton-parton interactions ...

Įvykio struktūra - 7



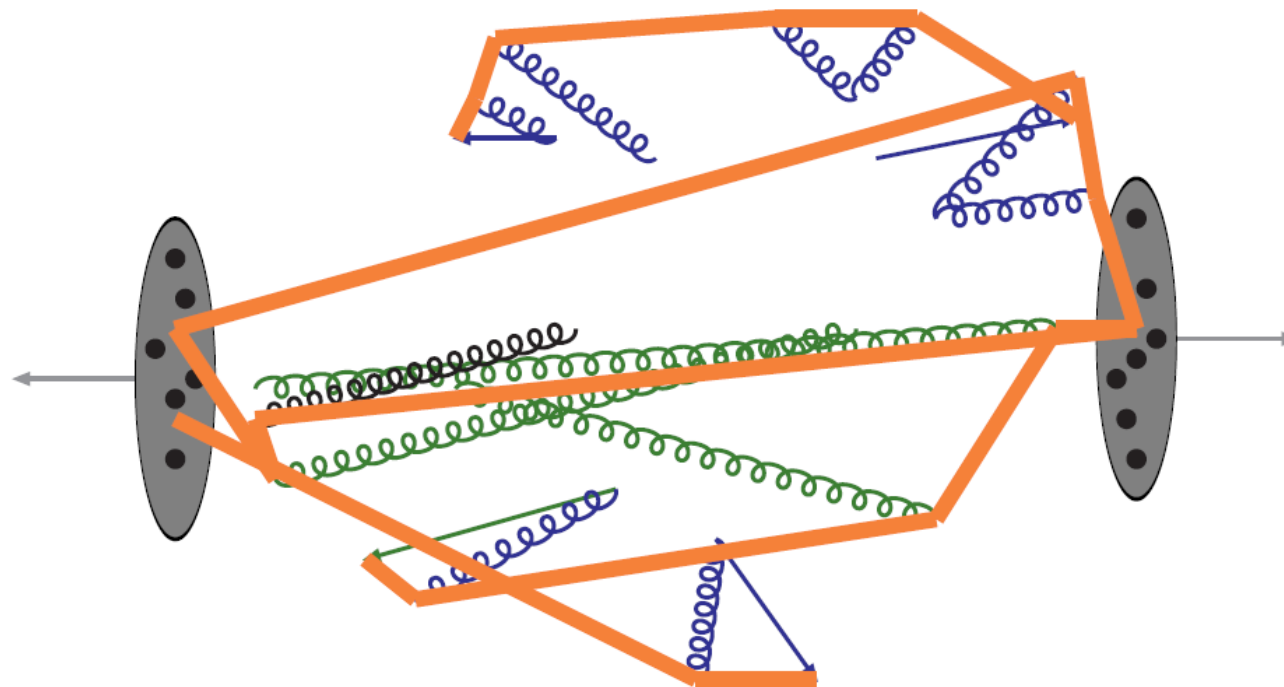
... with its initial- and final-state radiation

Įvykio struktūra - 8



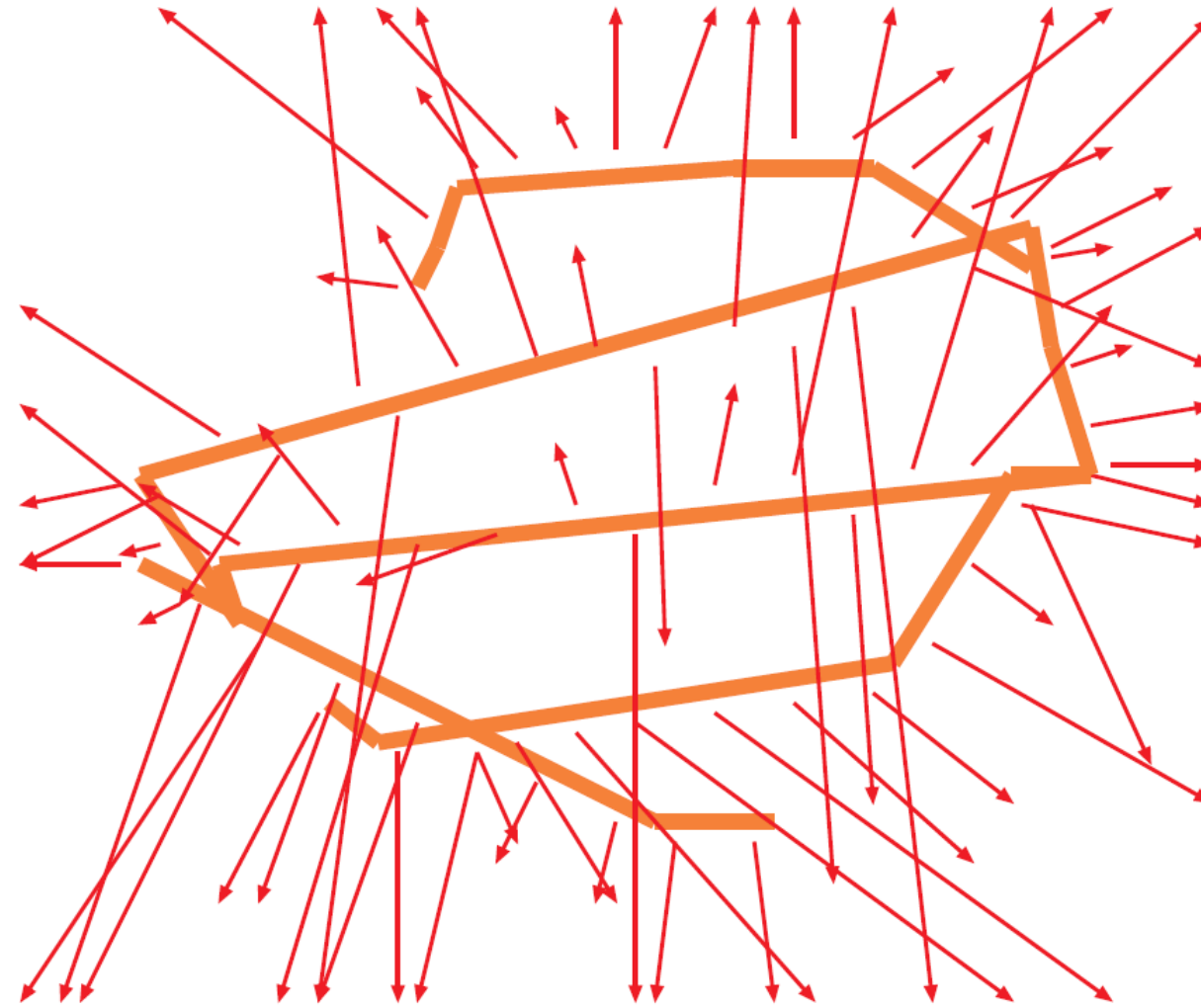
Beam remnants and other outgoing partons

Įvykio struktūra - 9



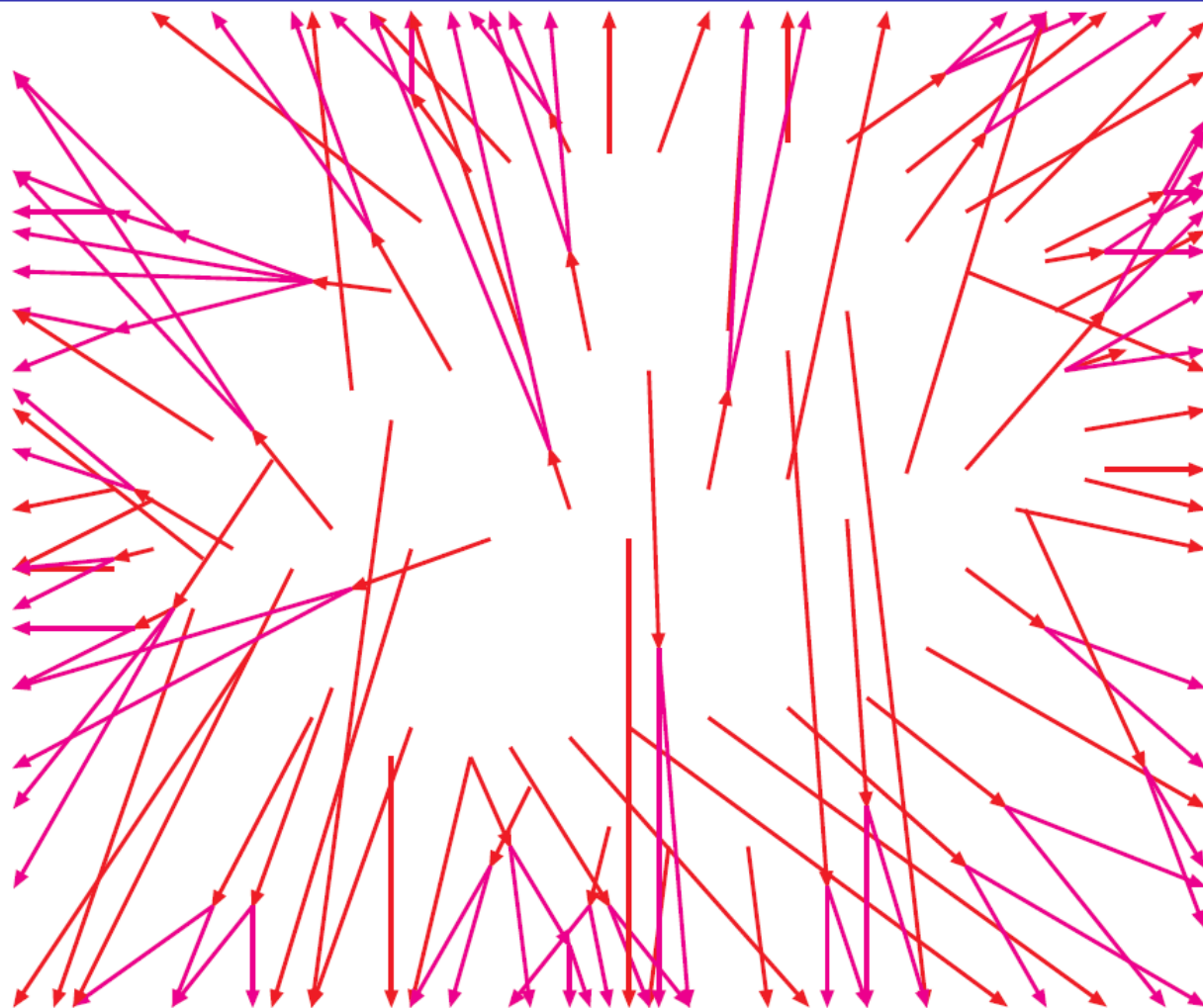
Everything is connected by colour confinement strings
Recall! Not to scale: strings are of hadronic widths

Ķvykio struktūra - 10



The strings fragment to produce primary hadrons

Įvykio struktūra - 11



Many hadrons are unstable and decay further



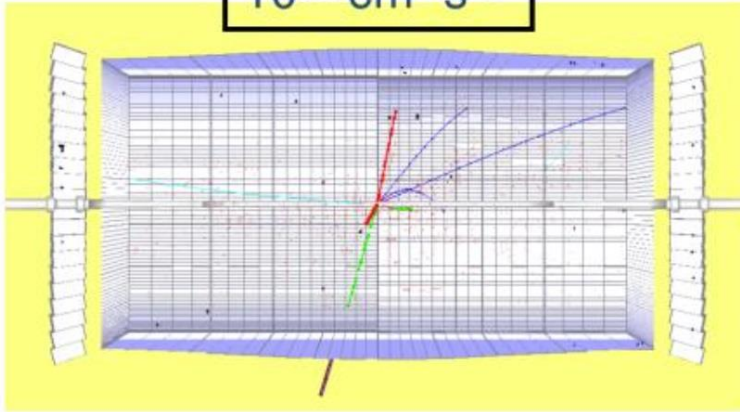
Protonų susidūrimų skaičiaus poveikis



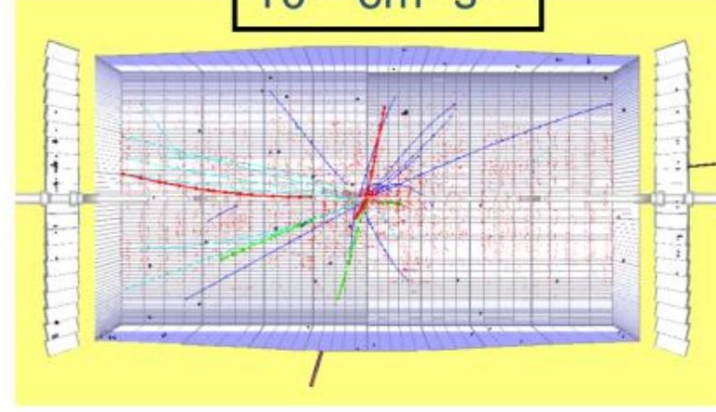
Vilniaus universitetas

$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu e e$, $M_H = 300$ GeV for different luminosities in CMS

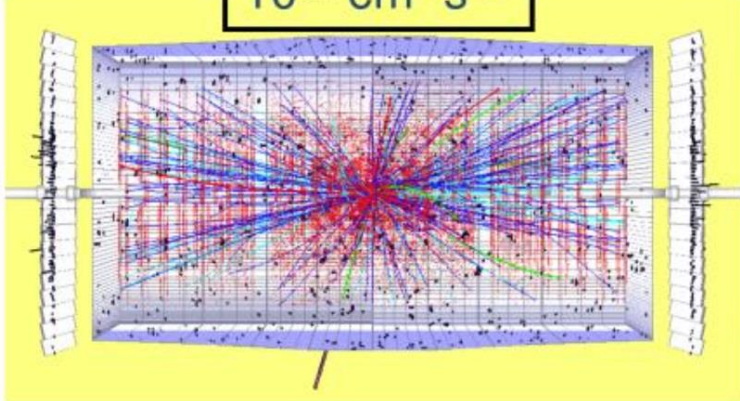
$10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



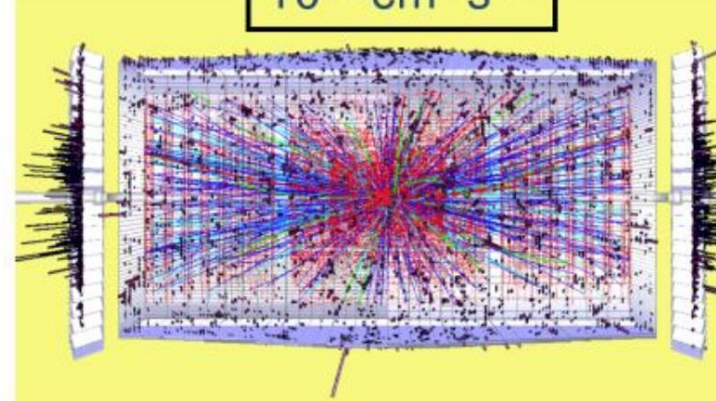
$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

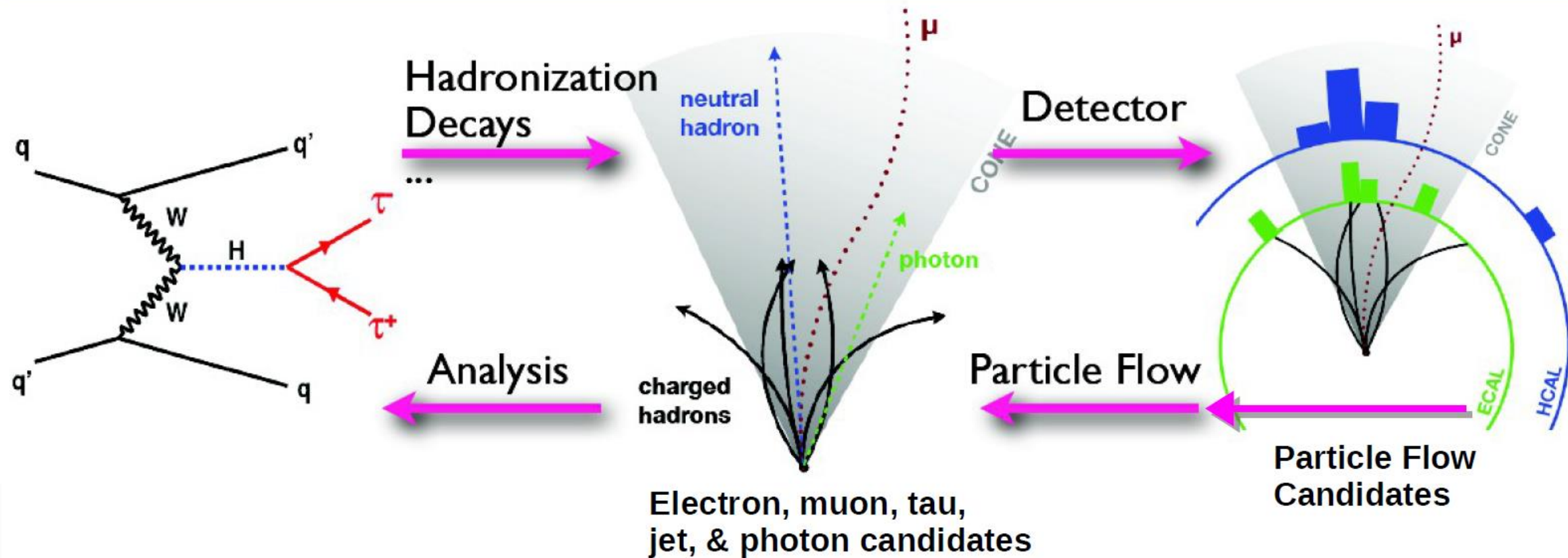


$10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

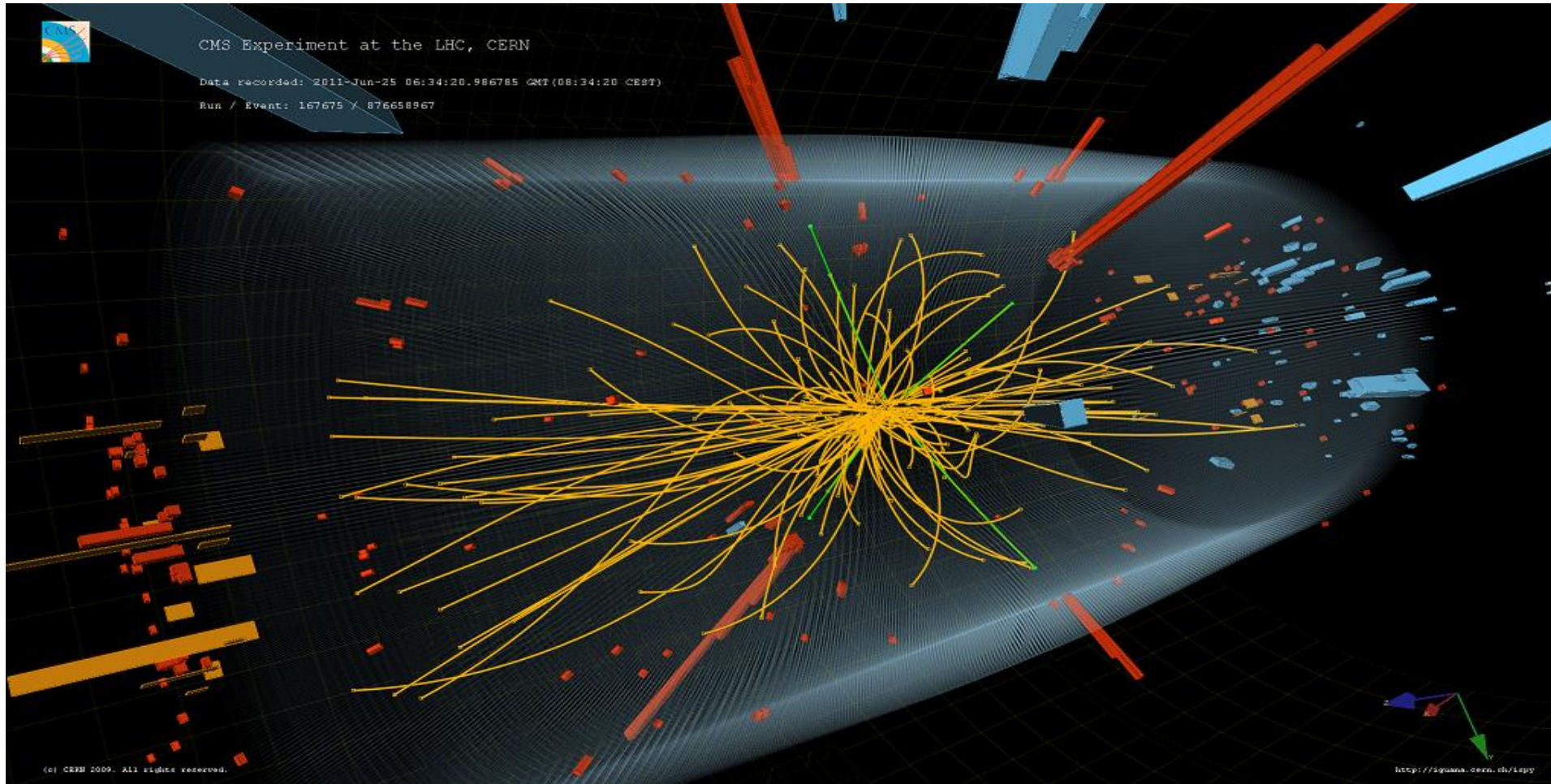




Dalelių srauto algoritmas



Higso bozono skilimas į keturis elektronus

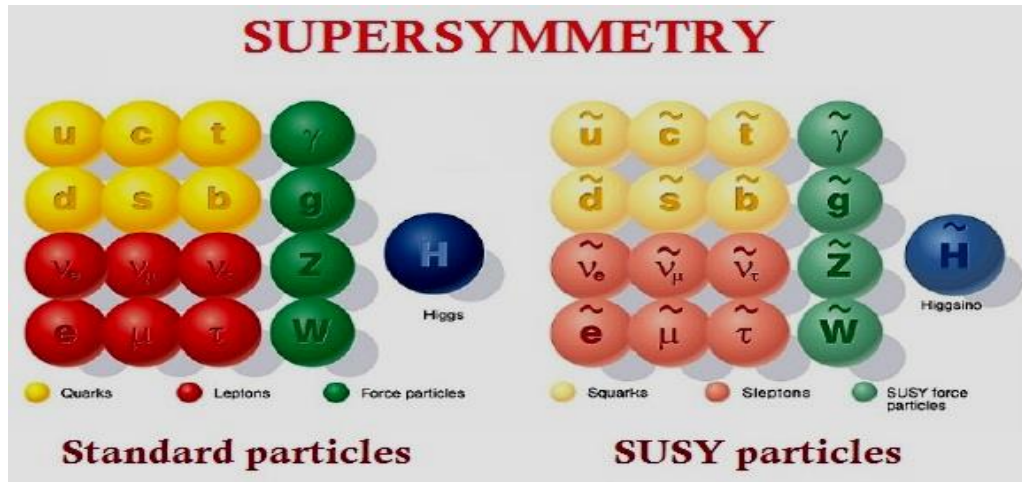




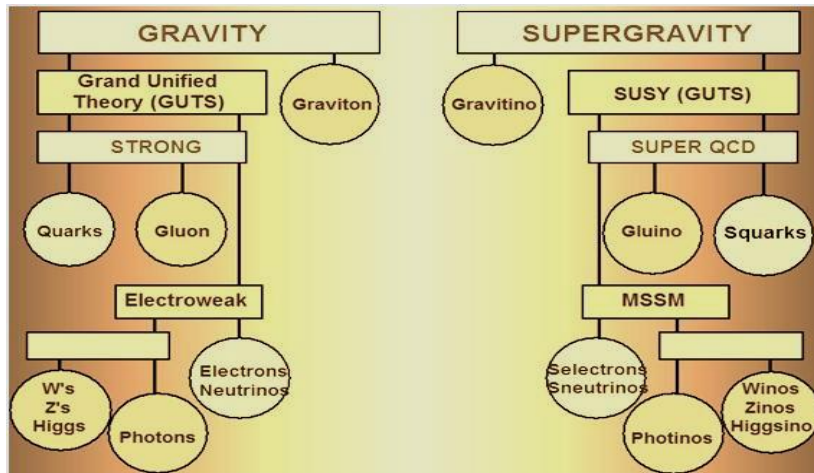
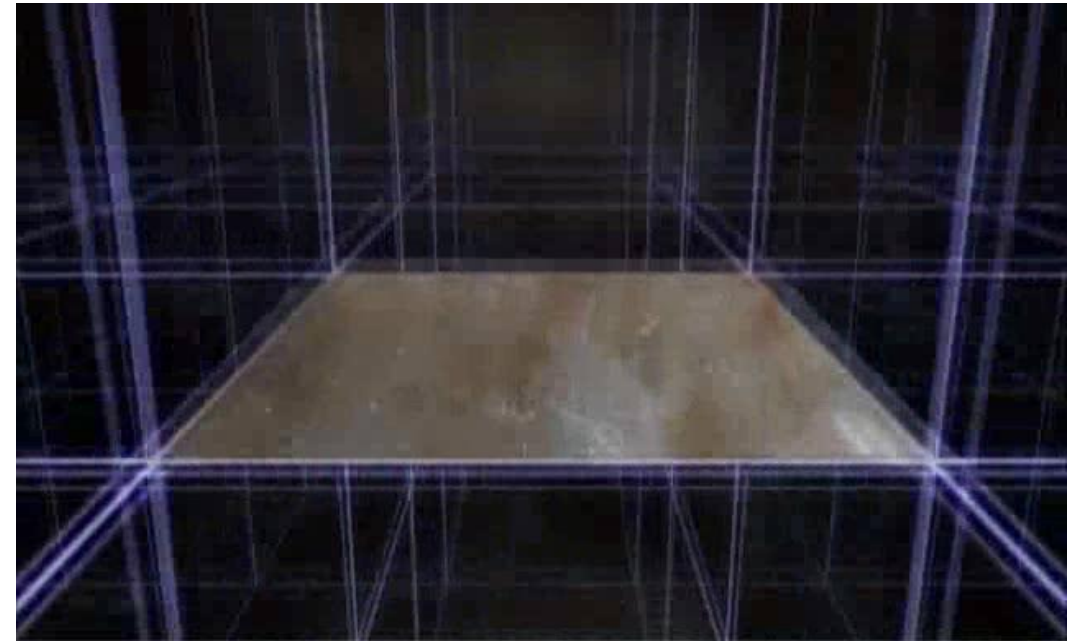
K. Mirziashvili (CERN, CMS)

Dar laukiantys iššūkliai

Ar galioja supersimetrija?



Ar yra daugiau erdvės matavimų?



Kaip veikia gravitacija?

Kur dingio antimedžiaga?

Kas yra tamsioji medžiaga?

Kodėl neutrina keičia aromata?



CMS detektorius CERN

<https://www.youtube.com/watch?v=S99d9BQmGB0>

(Yra lietuviški titrai!)





**Vilniaus
universitetas**

KONTAKTAI

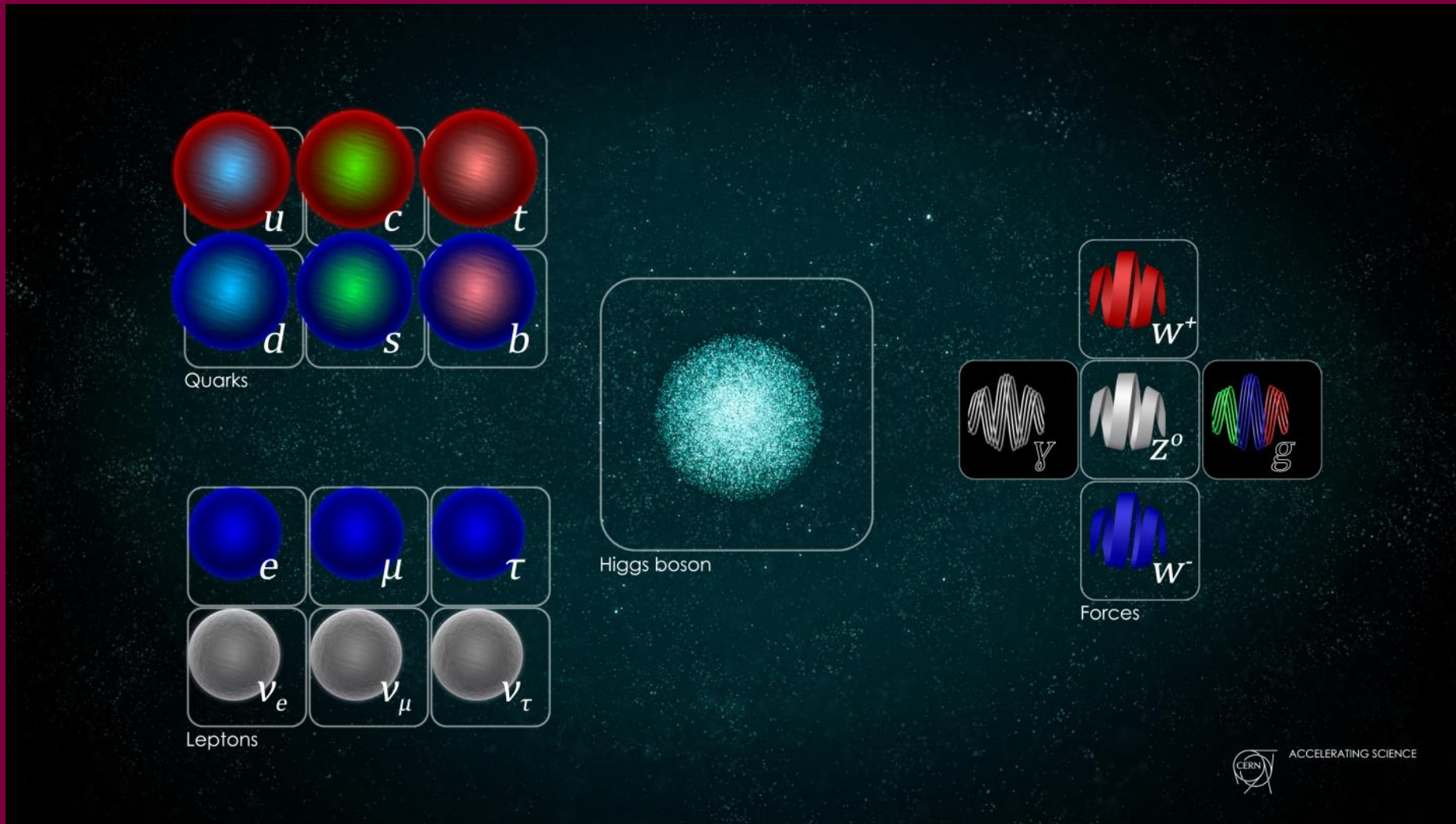
Andrius Juodagalvis

Vyresnysis mokslo darbuotojas

Teorinės fizikos ir astronomijos institutas

andrius.juodagalvis@tfai.vu.lt

Fundamentaliųjų dalelių standartinis modelis



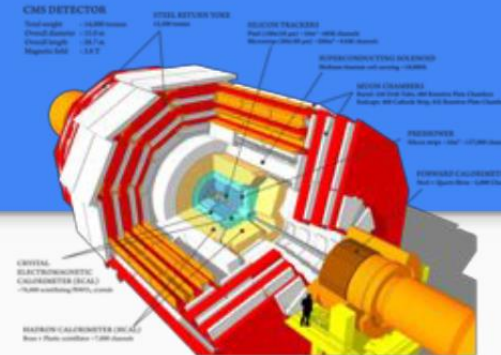
Sprace2 – kompiuterinis žaidimas, supažindinantis su dalelėmis ir medžiagos sandara (anglų k.)

<https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game>

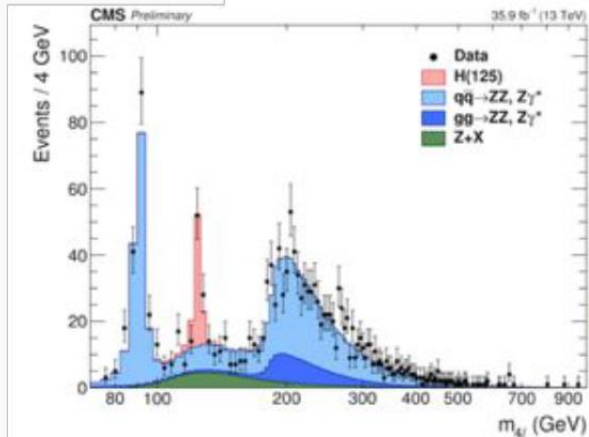
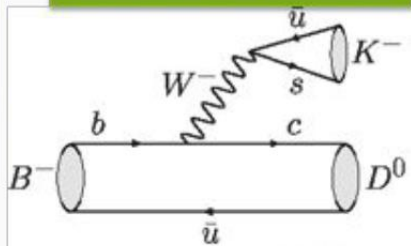


Dalelių susidūrimų registravimas CMS detektoriuje

Reality



Decay of unstable particles



Detector electronics

Trigger (selection)

Reconstruction

Analysis

SW

SW

SW

5

5

T.Boccali, <https://indico.cern.ch/event/758324>

Beamline for schools



Konkursas „Dalelių pluošteliai mokykloms“
(B4S)

Aukštųjų mokyklų komandos gali dviem savaitėms tapti CERN laboratorijos mokslininkais

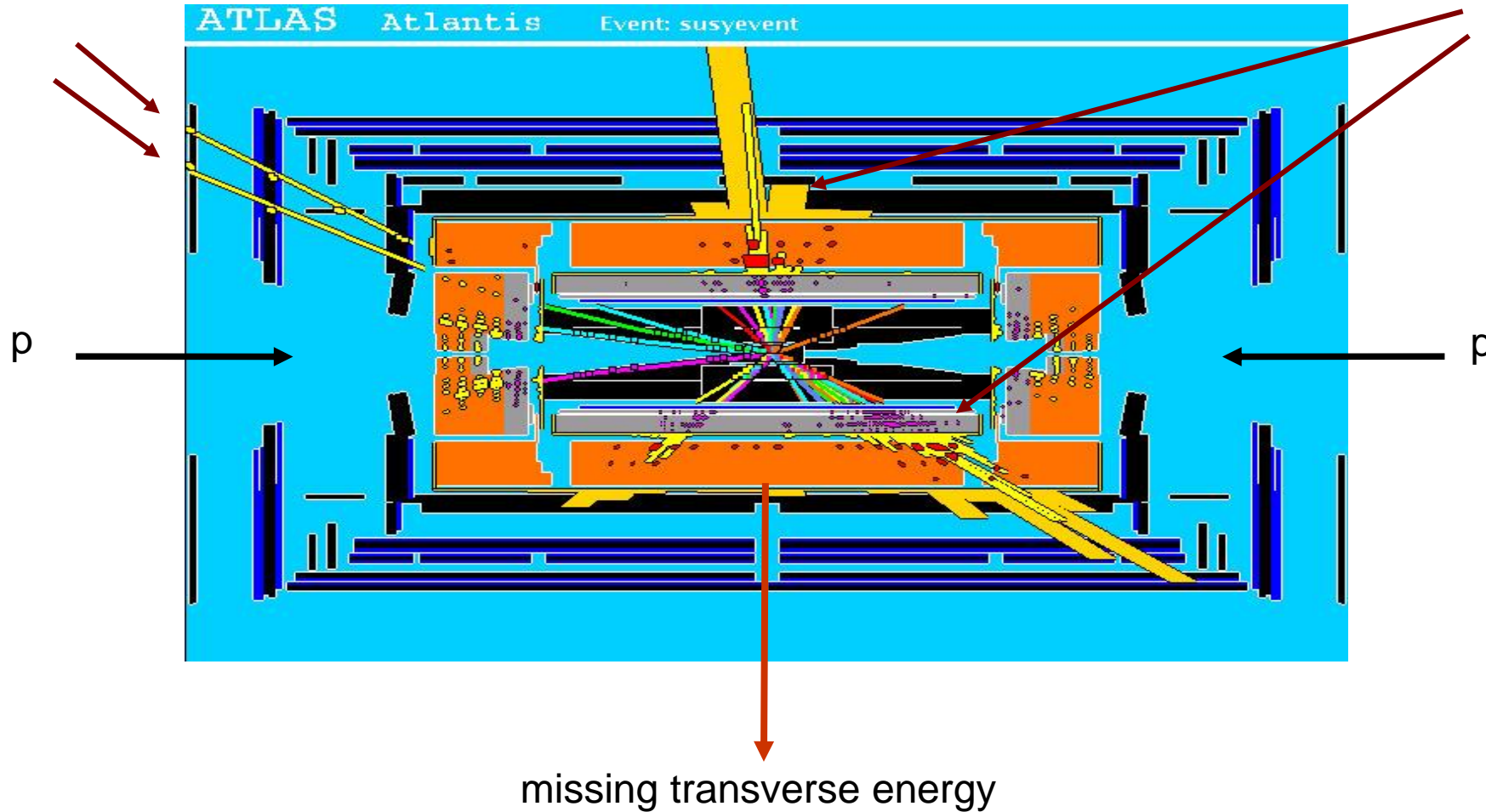
Tereikia sėkmingai parašyti projektą, ką norėtų ištirti, jei turėtų įgreitintų dalelių srautą

Nuotraukoje – 2018 m. nugalėtojai iš Filipinų

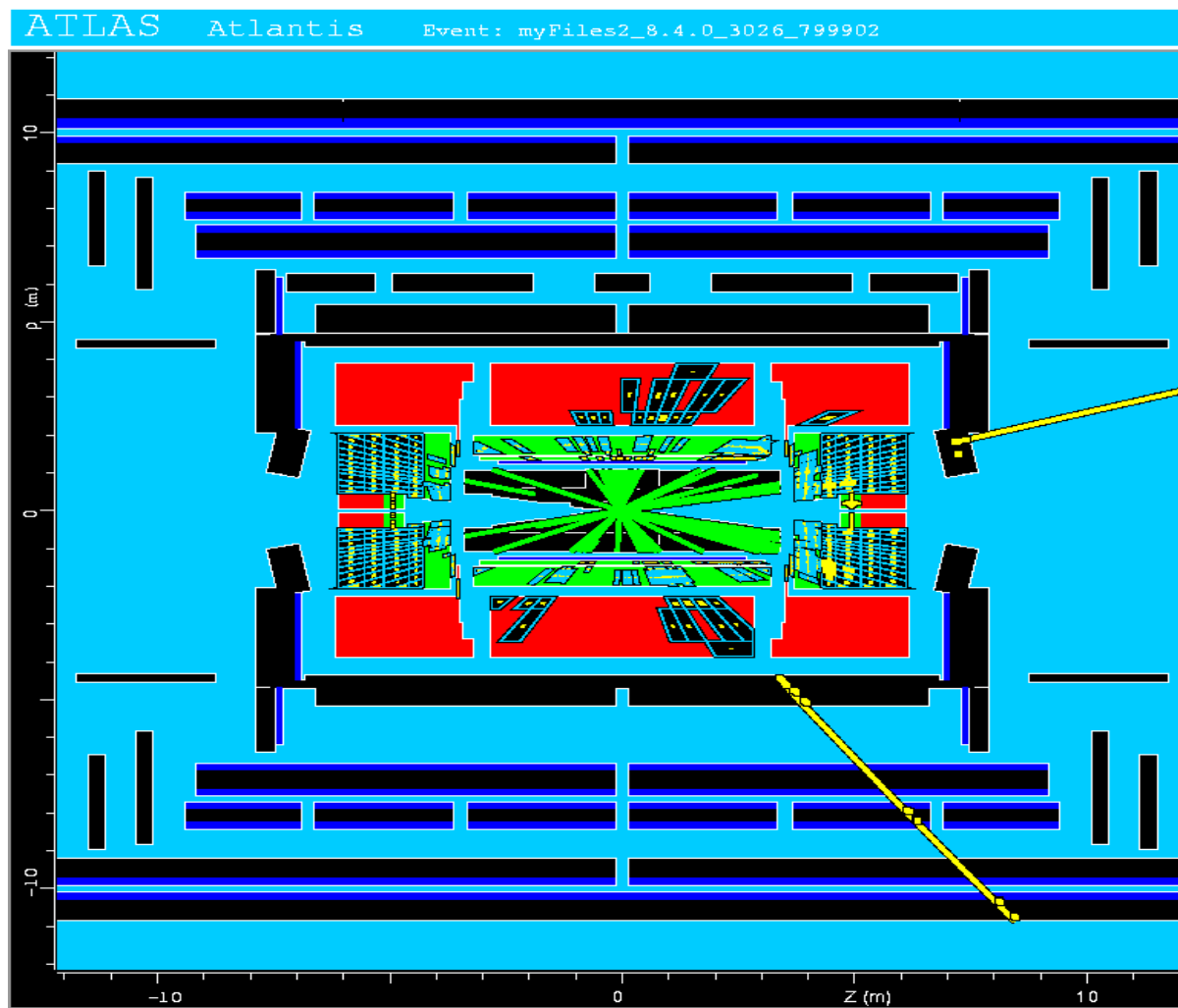
A simulated SUSY event (“Signal”)

high p_T
muons

high p_T jets
of hadrons



Background events



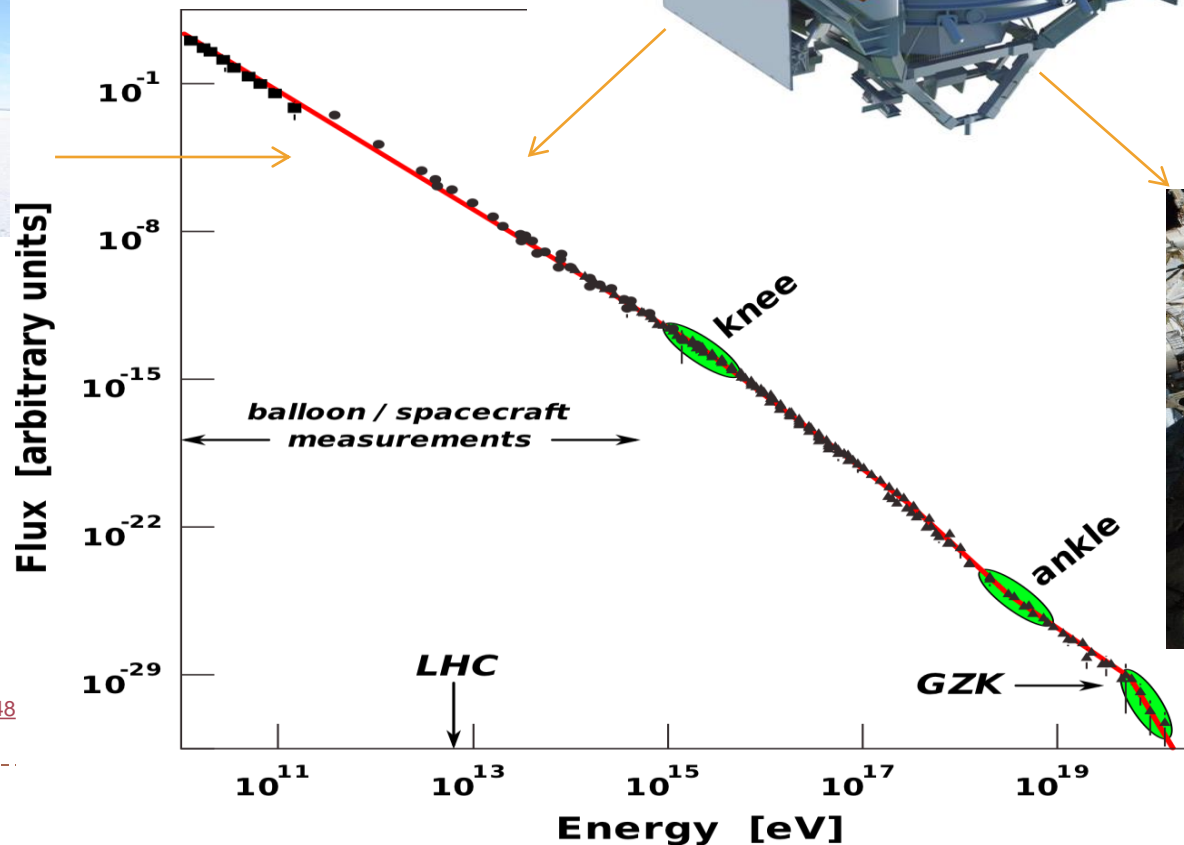
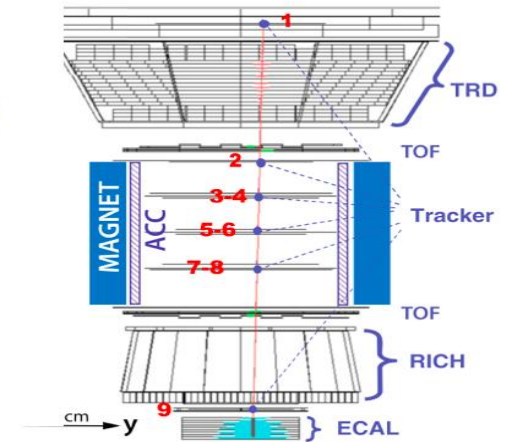
This event from Standard Model $t\bar{t}$ production also has high p_T jets and muons, and some missing transverse energy.

→ can easily mimic a SUSY event.

Cosmic ray study methods



Alpha Mass Spectrometer-2



Two astronauts working on the Space Station near AMS

From L.Miramonti, <https://slideplayer.com/slide/4157148>