

Dalelių detektoriai

Aurelijus Rinkevičius

Cornell U., Vilnius U.

2019-03-11

Turinys

Įvadas

Detektorių Sąveikos

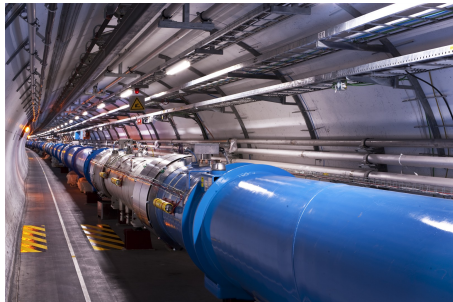
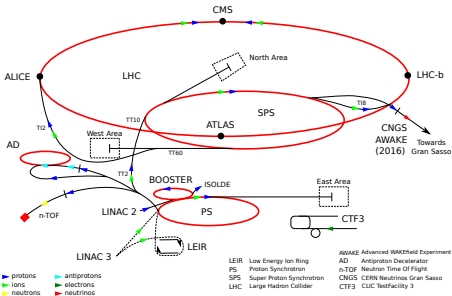
Detektoriai

Anatomija

Pastebėjimai

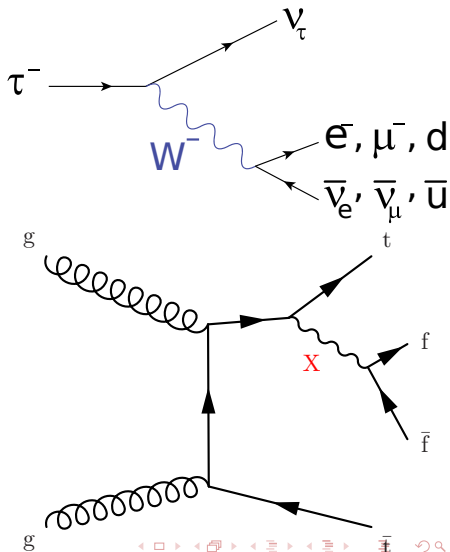
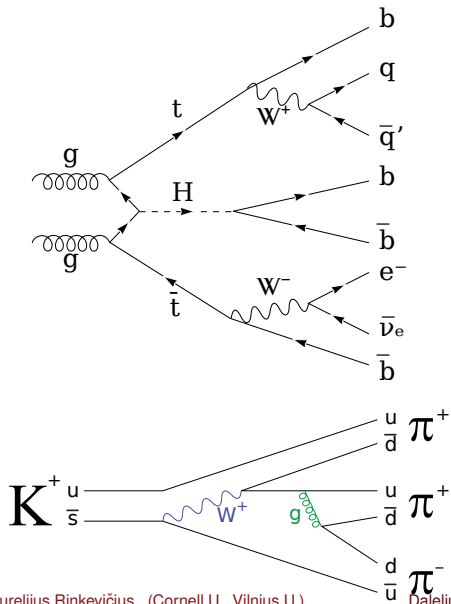
Įvadas

Greitintuvų kompleksai



Viskas reikalinga tam, kad įvyktų ...

Energingi Susidūrimai (2)



Detektoriai

Detektorius — eksperimento rezultatų registravimo prietaisas.

Reikalingi:

- Užfiksuoti vykstančią fizikinę realybę

Padedą:

- Suprasti „paslėptus“ reiškinius/gamtą

Gali:

- „Matyti“ priklausomai nuo mūsų gamtos suvokimo

Detektoriai

Detektorius — eksperimento rezultatų registravimo prietaisas.

Reikalingi: (Eksperimentas)

- Užfiksuoti vykstančią fizikinę realybę

Padedą: (Teorija)

- Suprasti „paslėptus“ reiškinius/gamtą

Gali: (Teorija+technologijos)

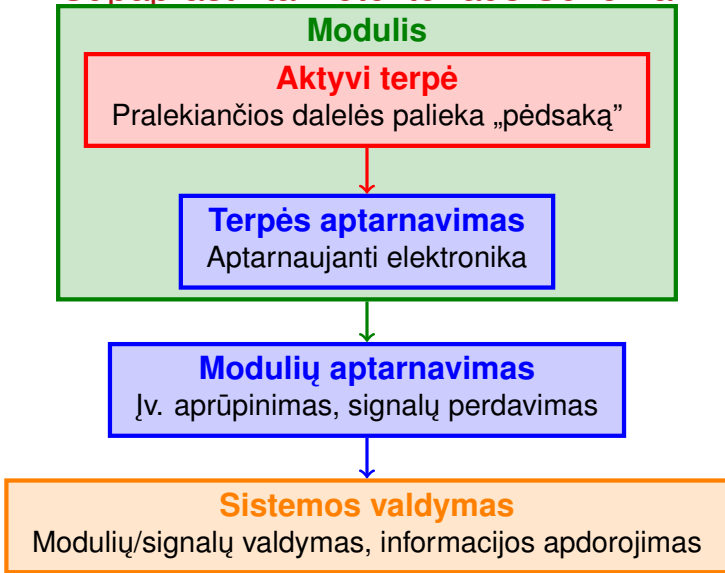
- „Matyti“ priklausomai nuo mūsų gamtos suvokimo

Detektoriai

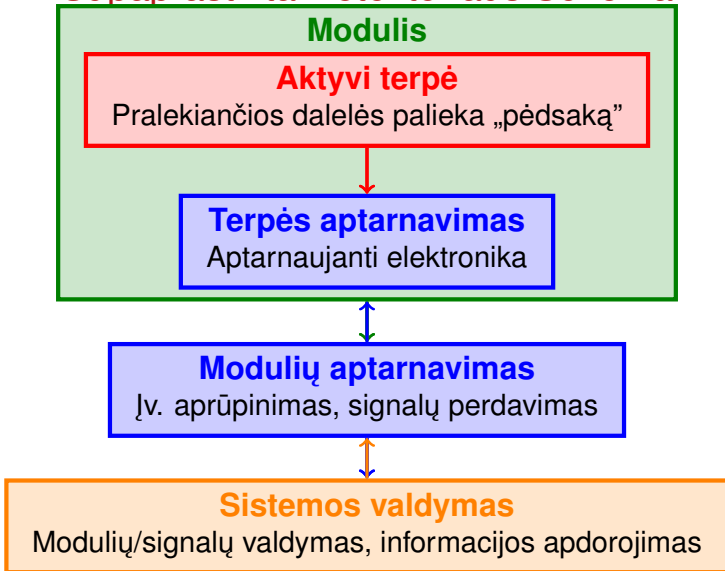
Šiame pristatyme pamėginsime
apžvelgti dalelių detektorius — aptarti, ką jie **gali** ir **kodėl**.

Detektorių Sąveikos

Supaprastinta Detektoriaus Schema



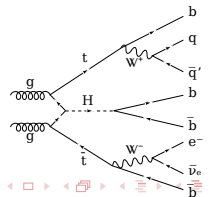
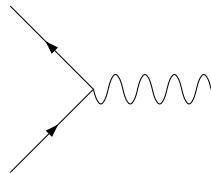
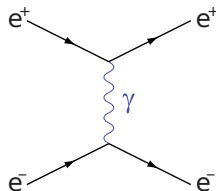
Supaprastinta Detektoriaus Schema



Įmanomos Elementariosios Sąveikos

Įmanomos Elementariosios Sąveikos

- Sklaida
- Anihiliacija
- Naujų dalelių sukūrimas



Makrosąveikos (1)

Fotonai:

- Komptono sklaida
- Fotoelektrinis reiškiny
- Porų gamyba

Krūvininkai:

- Sklaida — labai nepageidaujama
- Jonizacija (išmuša elektroną iš atomo)
- Sužadinimas (sužadina elektronus į aukštesnes orbitales)
- Fotonų spinduliavimas:
 - Bremsstrahlung (krūvininkų judėjimas su pagreičiu)
 - Perėjimo spinduliuotė
 - Čerenkovo spinduliuotė (viršija šviesos greitį terpėje)

Makrosąveikos (2)

Hadronų sąveikos:

- Stiprioji sąveika dėl neelastinių branduolinių sąveikų: krūvį turinčios skeveldros užfiksuojamos.

Neutrinai:

- Nesąveikauja.
- Matomas energijos/impulso deficitas.

Kaip Susiprojektuoti Detektorių?

Reikia žinoti:

- Fizikos uždavinį
- Fizikinius objektus/daleles
- Technologijas
- Duomenų rinkimo specifiką
- Apkrovą
- Eksperimentines sąlygas
- Kolegų planus
- Biudžetą

Detektoriai

Detektorių Rūšys (1)

Skirstomi pagal

- **Tipą**
 - Trekinimas
 - Kalorimetrija (vienalytis, mėginėliais)
- **Technologiją**
 - Dujinis
 - Kristalinis
 - Puslaidininkinis
 - Metalinis
 - Scintiliacinis/šviesolaidinis
 - Egzotika

Detektorių Rūšys (2)

Skirstomi pagal

- **Fizikinius objektus/daleles**
 - Elektromagnetinis
 - Hadroninis
 - Muoninis
 - Krūvininkų trekeris
- **Lokaciją**
 - Vidinis
 - Išorinis
 - Bačkos
 - Dangtinis

Galimos **visos kombinacijos** iš aukščiau **pateiktų elementų**

Kompleksiniai Detektoriai („Eksperimentai“)

Skirstomi pagal

- **Fizikos uždavinį**
 - Bendrosios paskirties
 - Sunkiųjų jonų
 - Preciziškiems matavimams
 - Specializuoti

Nuo konteksto:

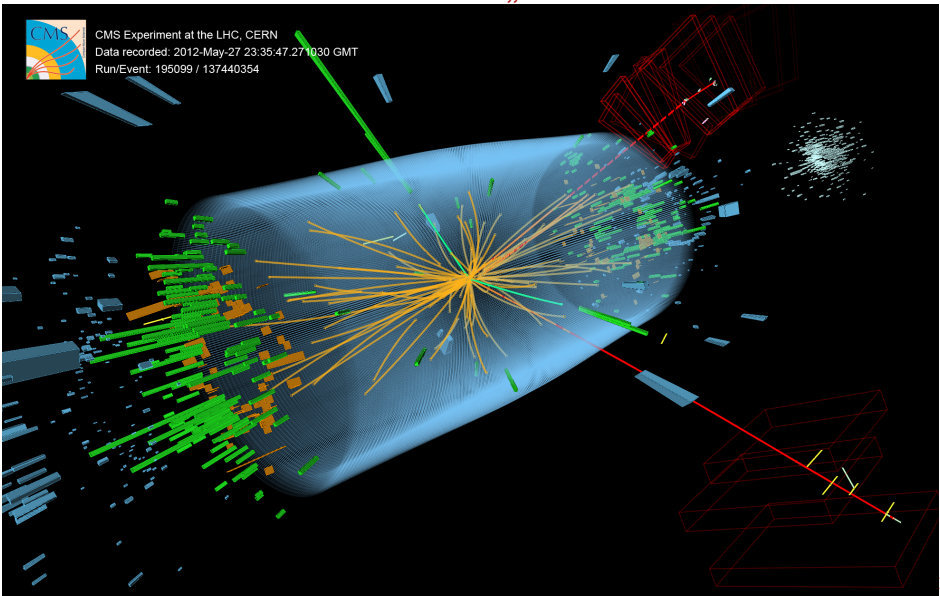
ne kompleksiniai: subdetektoriai, sistemos, posistemės.

Kompleksiniai detektoriai paprastai registruoja **visų tipų daleles**.

Užfiksuotas „Kadras“

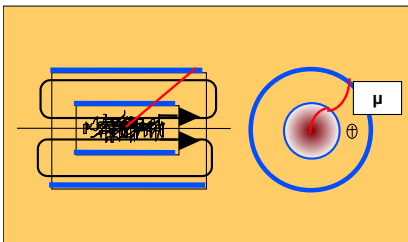
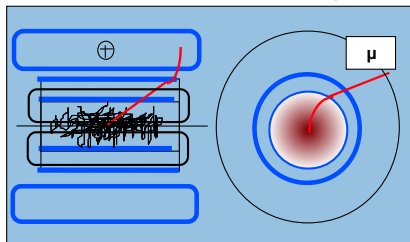
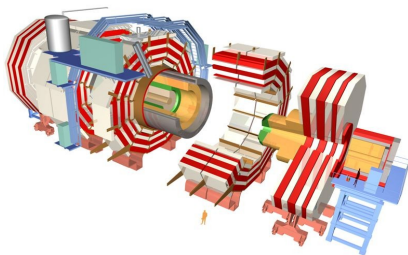
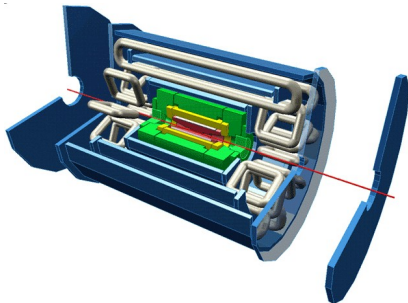


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354



Detektorių Magnetai — Specialus Komponentas

A Toroidal LHC Apparatus (ATLAS) Compact Muon Solenoid (CMS)



Detektorius: Kompaktiškas Muonų Solenoidas

CMS detektorius su išpjova

40 MHz

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel (100x150 μm) ~16m² ~66M channels
Microstrips (80x180 μm) ~200m² ~9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying ~18,000A

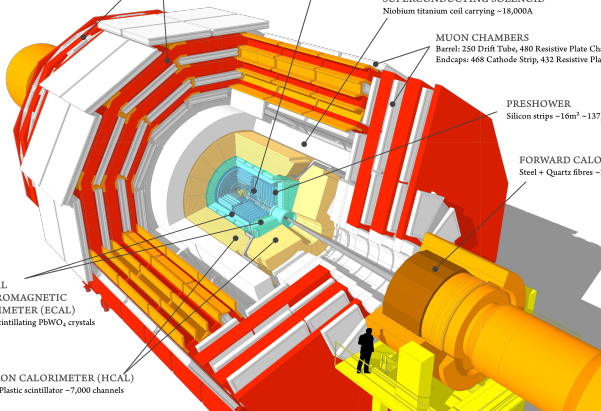
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
Silicon strips ~16m² ~137,000 channels

FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres ~2,000 Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)
~76,000 scintillating PbWO₄ crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels



×

~20 p-p
susidūrimų

×

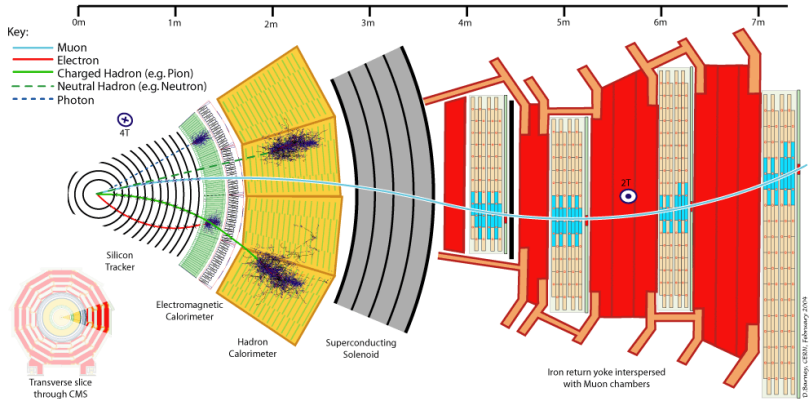
p-p = ~200
skeveldrų

=

~100 Tb/s

Galutinė dalelė	Rezoliucija
γ	1.5–5% @ 60 GeV
e	2–4% @ 10 GeV
μ	1–1.5% @ 10 GeV
j	o(10)%

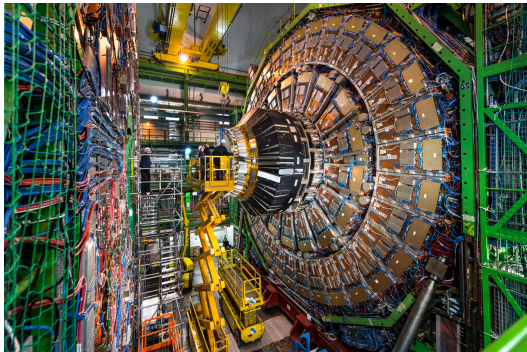
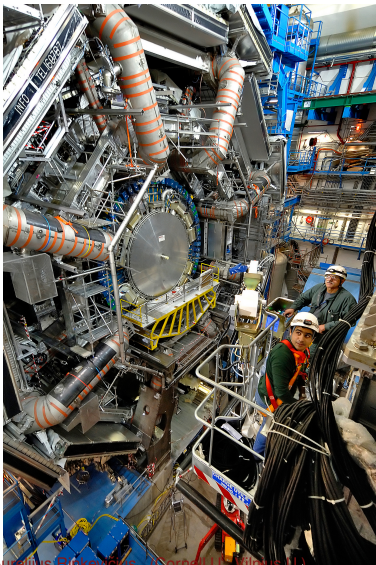
Skeveldrų/dalelių Identifikacija



Bendrosios Paskirties Detektoriai

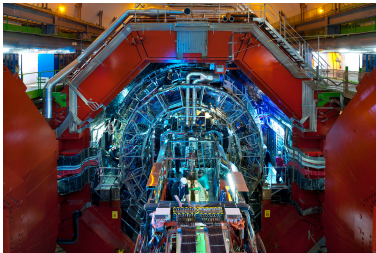
ATLAS

CMS



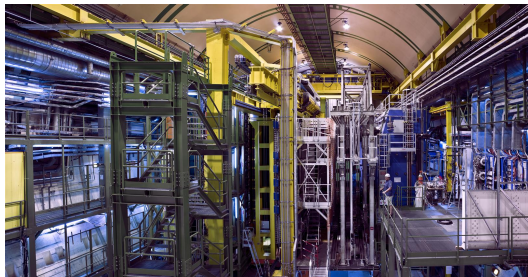
Specializuoti Detektoriai

ALICE



- Sunkiųjų jonų tyrimai

LHCb



- Didelės rezoliucijos tyrimai

Anatomija arba Subdetektoriai (Pagrindinis dėmesys į CMS)

CMS Magnetas

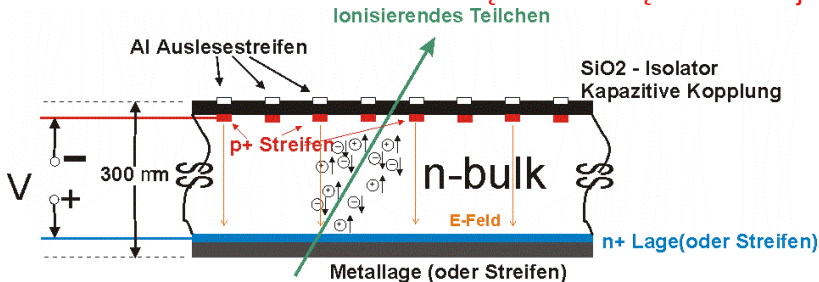
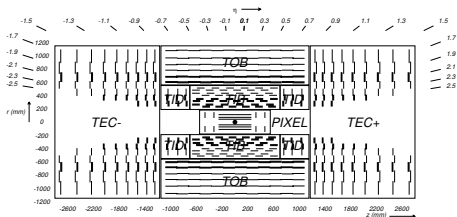


- Superlaidus solenoidinis magnetas, $B = 4 \text{ T}$
- Srovės stipris: 20 kA
- Superlaidininkas: NbTi ($\sim 4 \text{ K}$)
- Matmenys: $13 \times 4 \text{ m}$ — talpiną trekerį ir kalorimetrus
- Kaina $\sim 80 \text{ MCHF}$

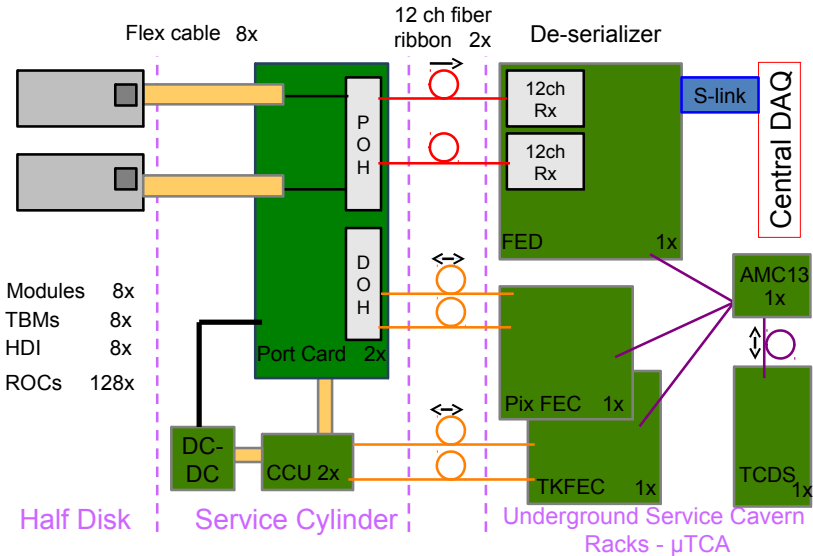
Puslaidininkinis Trekeris

Esminiai faktai:

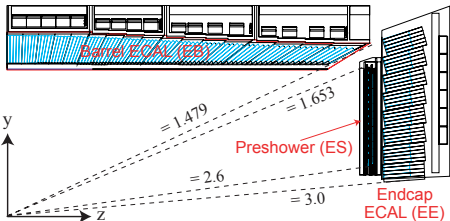
- Silicio sensoriai (juostos, pikseliai).
- Junta krūvininkus: e^{\pm} , μ^{\pm} , ...
- Impulso matavimas.
- **Sąveikos taškų identifikacija.**



Pilna Pirmos Fazės Pixel Detektoriaus Schema

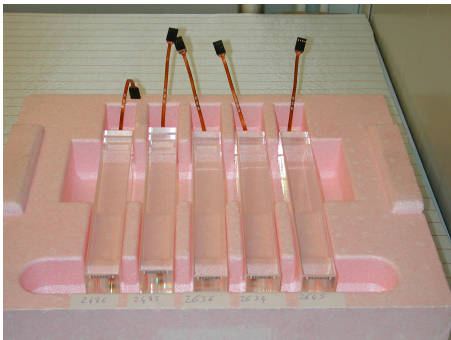


Elektromagnetinis Kalorimetras (ECAL)



Esminiai faktai:

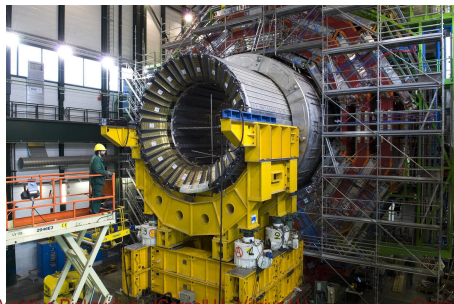
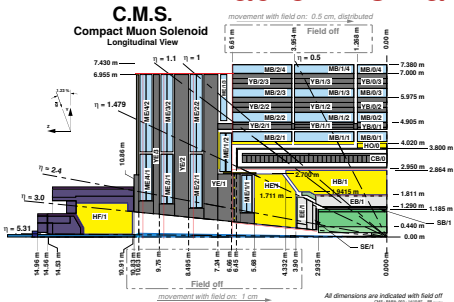
- Švino wolframato kristalai (PbWO_4).
- Matuoja energiją: e^\pm, γ (radiacinis ilgis: $25X_0$).



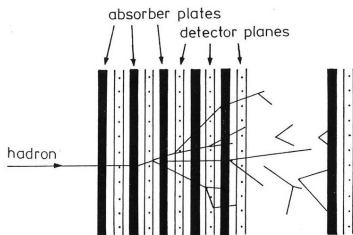
Hadroninis Kalorimetras (HCAL)

Esminiai faktai:

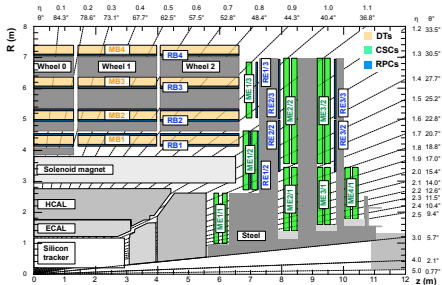
- Plastikiniai scintiliatoriai suspausti žalvariniais sugertuvais.
- Matojoja (hadronų) energiją: p^+ , n^0 , π^\pm , K mezonai.



Sampling Calorimeter

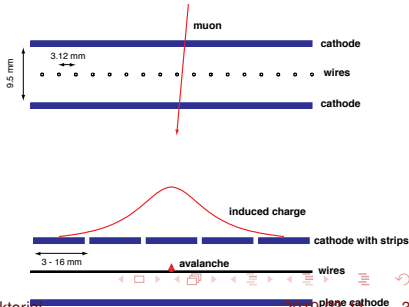
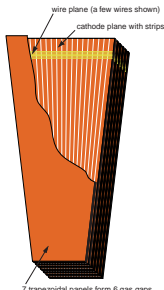


Muoninis Detektorius



Esminiai faktai:

- Dujiniai detektoriai.
- Svarbu miuonų identifikacijai.
- Naudojama greitame filtru.



Filtrai (Trigger)

Vienas įvykis/susidūrimas $\sim O(1)$ Mb duomenų.

- Susidūrimai vyksta 40 MHz dažniu.
- Pirmos pakopos filtrai „karštas“ (online): 100 kHz.
Naudojamos sistemos: miuoninė, ECAL, HCAL.
- Aukšto lygio filtrai labiau sofistikuotas (offline): 300 Hz.
Panaudojamos visos sistemos. Apytikslė „pilna“ rekonstrukcija.

Anksčiau ir dabar:



Schematiškai

All 25 ns



40 MHz
COLLISION RATE

100 kHz
LEVEL-1 TRIGGER

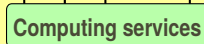
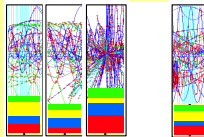
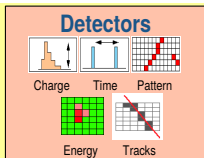
DAQ accepts
Level-1 rate of 100kHz

1 Terabit/s
(50000 DATA CHANNELS)

500 Gigabit/s

HLT (High Level Trigger) designed for
about 100Hz
- Reduction factor 1000
~2000 CPUs

Gigabit/s SERVICE LAN



16 Million channels
3 Gigacell buffers

1 Megabyte EVENT DATA

200 Gigabyte BUFFERS
500 Readout memories

EVENT BUILDER. A large switching network (512x512 ports) with a total throughput of approximately 500 Gbit/s forms the interconnection between the sources (Readout Dual Port Memory) and the destinations (switch to Farm Interface). The Event Manager collects the status and request of event filters and distributes event building commands (read/clear) to RDPMs

5 TeraIPS

EVENT FILTER. It consists of a set of high performance commercial processors organized into many farms convenient for on-line and off-line applications. The farm architecture is such that a single CPU processes one event

Petabyte ARCHIVE

Įvairūs Pastebėjimai

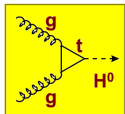
Pasidaryk Pats

- LHC sistemos yra „pasidaryk pats” tipo:
 - Nuo detalių iki prog. įrangos (hardware, firmware, software)
- Detalės yra savotiški prototipai (reikalinga kalibracija).
- Projektuojant viską sunku numatyti.
- Duomenų rinkimo sąlygos keičiasi nuo laiko: 8, 13 TeV, ...

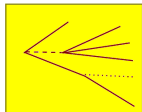


Bėgantis taikinyš

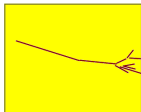
From Physics to Raw Data



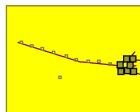
Basic physics



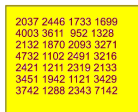
Fragmentation, Decay



Interaction with detector material
Multiple scattering, interactions



Detector response
Noise, pile-up, cross-talk, inefficiency, ambiguity, resolution, response function, alignment

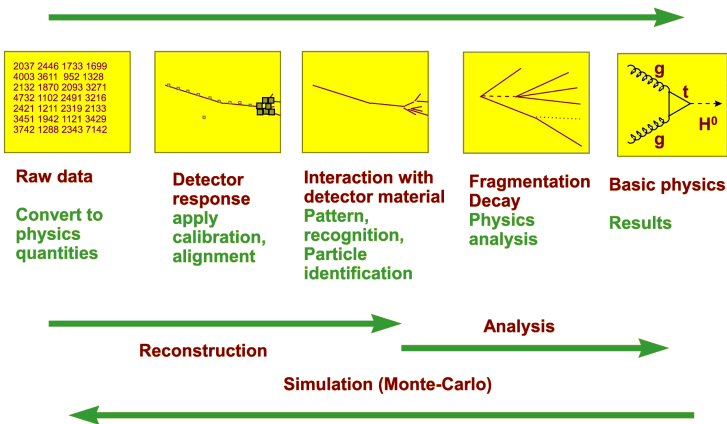


Raw data

Read-out addresses, ADC, TDC values, Bit patterns

- Really recorded raw data for ATLAS/CMS ~400 MB/s
 - mainly electronics numbers
 - e.g. number of detector element where ADC (Analog-to-Digital converter) saw signal with x counts...

From Physics to Raw Data



- We need to go from raw data back to physics
 - reconstruction + analysis of the event(s)

Apibendrinimas

- Dauguma naudingų detektorių yra kompleksiniai.
- Detektorių gebėjimai priklauso nuo žinių ir technologijų.
- Duomenų rinkimas ir apdorojimas yra daugiapakopis procesas.

