



# Dalelių detektoriai

Aurelijus Rinkevičius

Cornell University

2016-11-08



# Turinys



Įvadas

Detektorių Sąveikos

Detektoriai

Anatomija

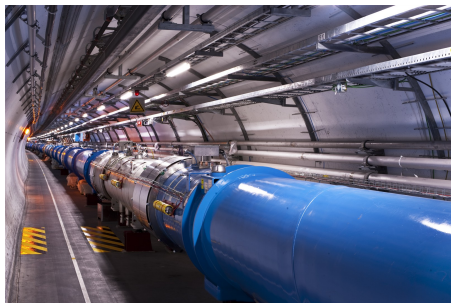
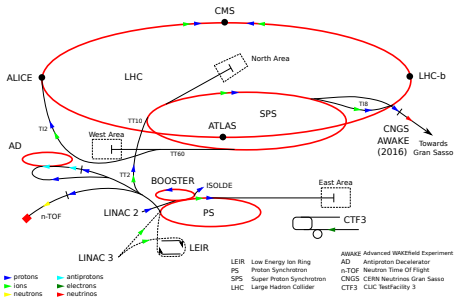
Pastebėjimai



# Įvadas



# Greitintuvų kompleksai

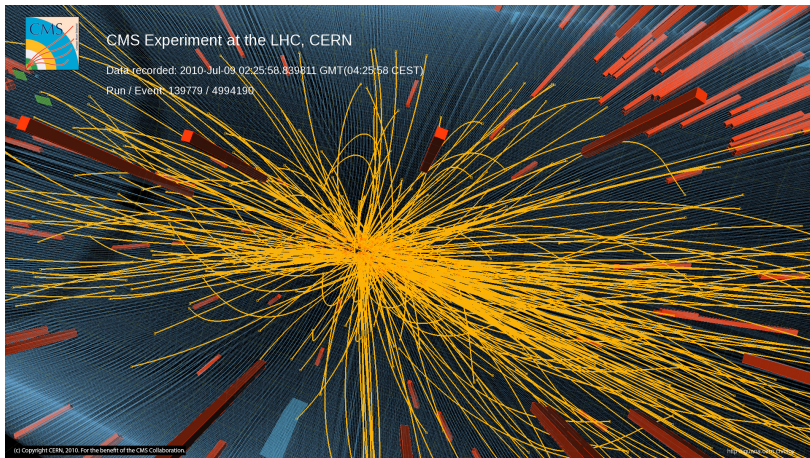


Viskas reikalinga tam, kad įvyktų ...



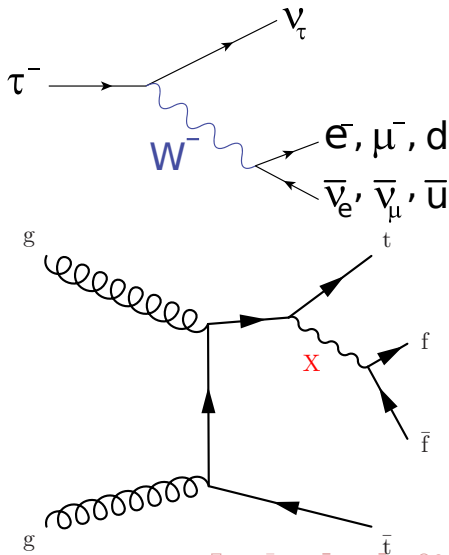
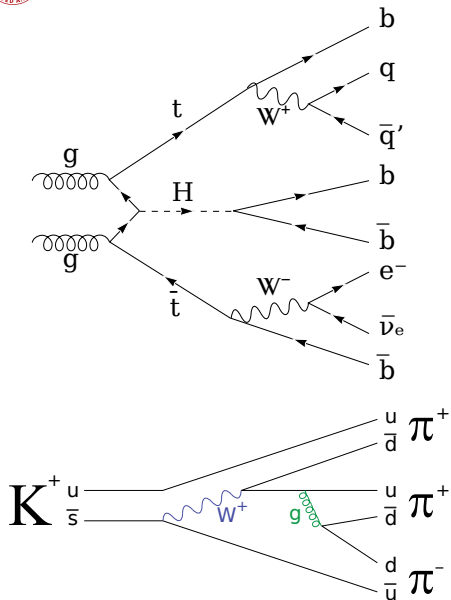


# Energingi Susidūrimai (1)





# 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

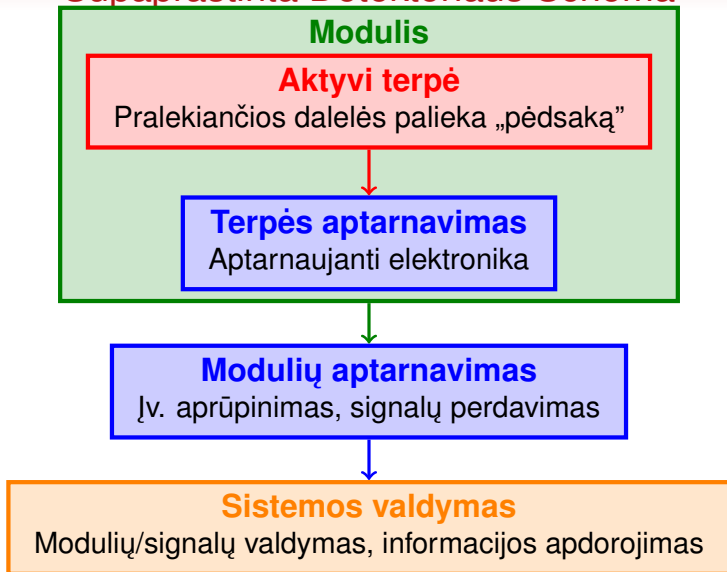
Apžvelgti dalelių detektorius — aptarti, ką jie **gali** ir **kodėl**.



# Detektorių Sąveikos

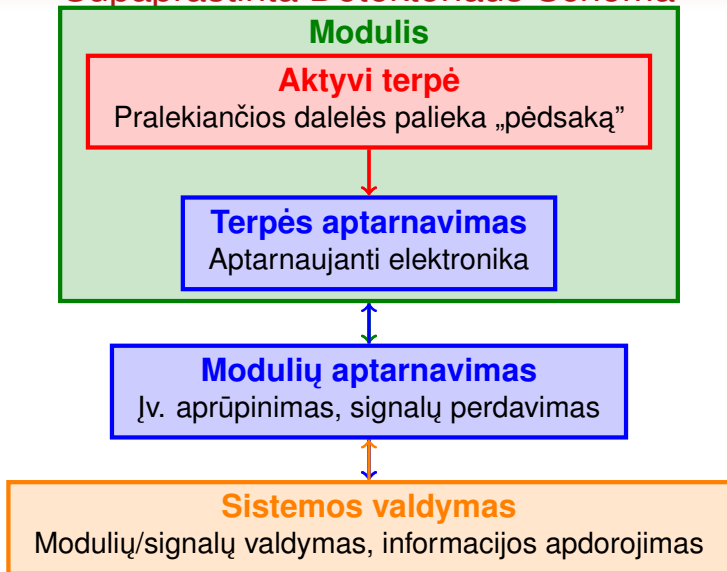


# Supaprastinta Detektoriaus Schema





# Supaprastinta Detektoriaus Schema







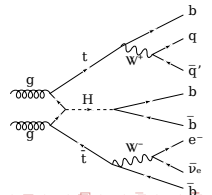
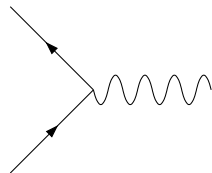
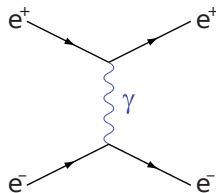
# Įmanomos Elementariosios Sąveikos





# 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.

### Neutrina:

- 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.

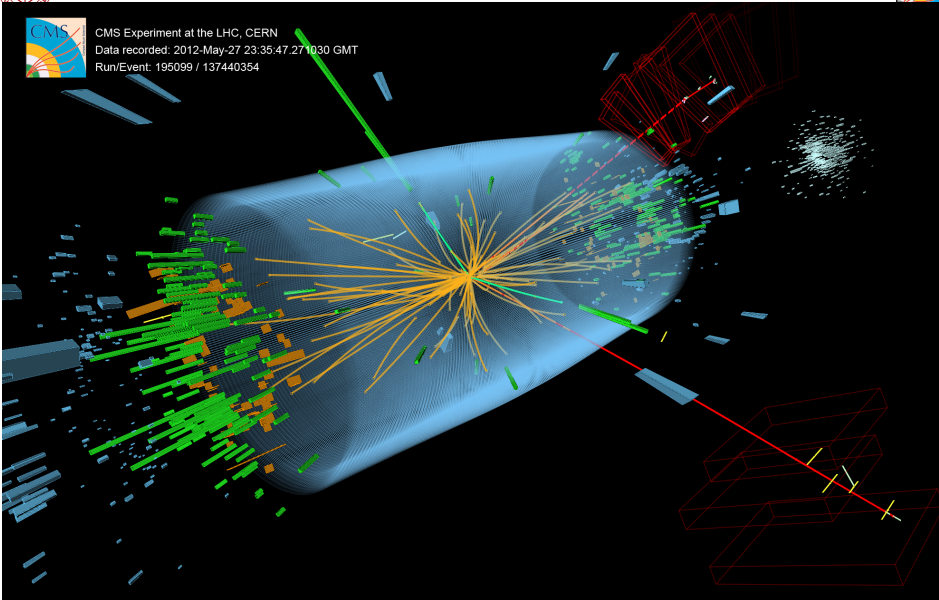
**Kompleksiniai** detektoriai paprastai registruoja **visų tipų daleles**.



# Užfiksuotas „Kadras”



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

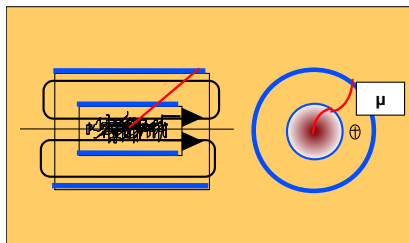
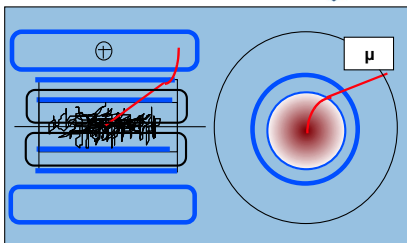
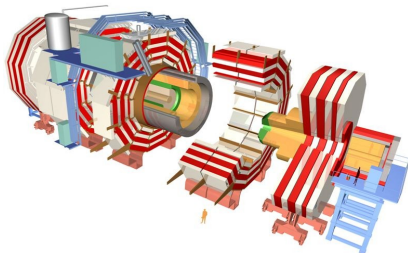
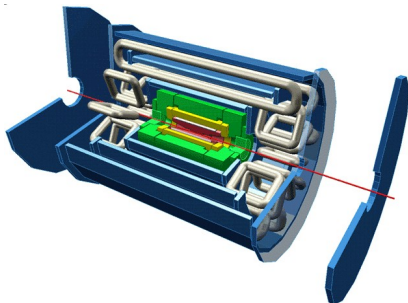




# Detektorių Magnetai — Specialus Komponentas



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





# Detektorius: Kompaktiškasis Muonų Solenoidas



## CMS detektorius su išpjova

20–40 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  $\mu\text{m}$ ) –16m<sup>2</sup> –66M channels  
Microstrips (80x180  $\mu\text{m}$ ) –200m<sup>2</sup> –9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
Niobium titanium coil carrying –18,000A

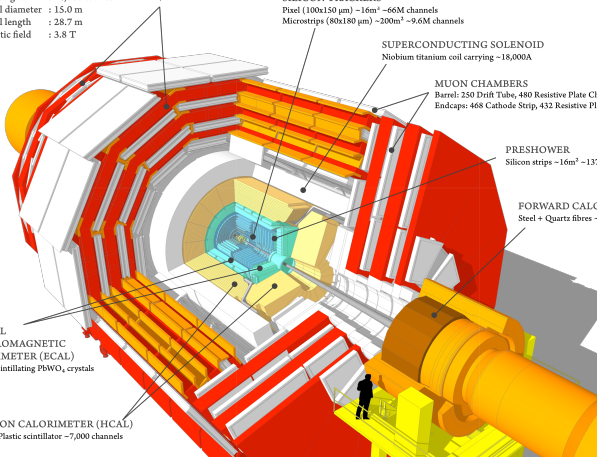
MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
Silicon strips –16m<sup>2</sup> –137,000 channels

FORWARD CALORIMETER  
Steel + Quartz fibres –2,000 Channels

CRYSTAL  
ELECTROMAGNETIC  
CALORIMETER (ECAL)  
–76,000 scintillating PbWO<sub>4</sub> crystals

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



×

~21 p–p  
susidūrimų

×

p–p = ~200  
skeveldrų

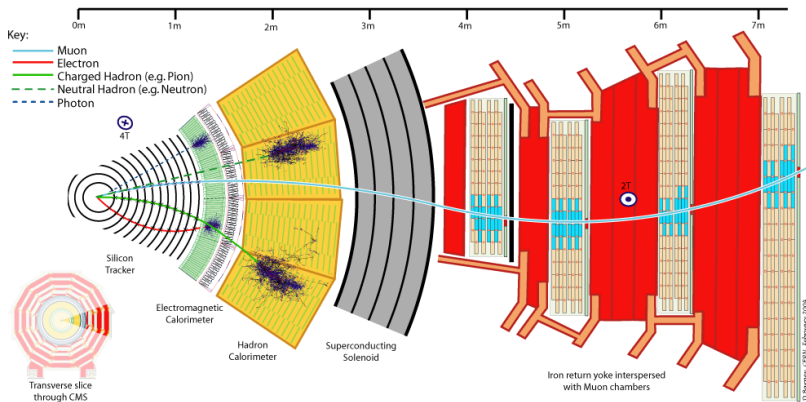
=

~50 Tb/s

Galutinė dalelė	Rezoliucija
$\gamma$	1.5–5% @ 60 GeV
e	2–4% @ 10 GeV
$\mu$	1–1.5% @ 10 GeV
j	$\mathcal{O}(10)\%$



# Skeveldrų/dalelių Identifikacija

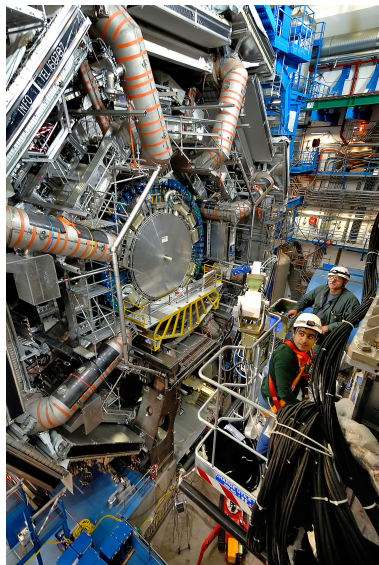




# Bendrosios Paskirties Detektoriai

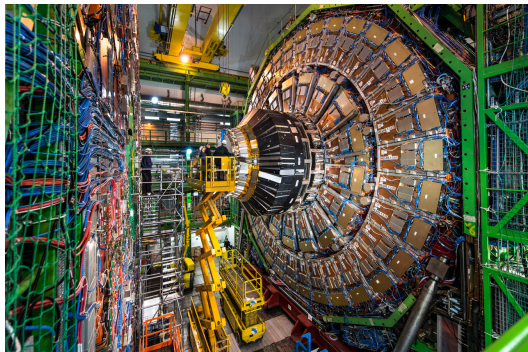


## ATLAS



Aurelijus Rinkevičius (Cornell University)

## CMS



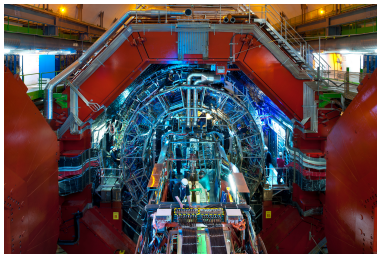
Dalelių detektoriai



# Specializuoti Detektoriai

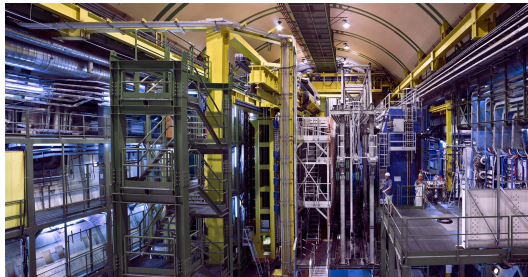


## ALICE



- Sunkiųjų jonų tyrimai

## LHCb



- Didelės rezoliucijos tyrimai



# Anatomija arba Subdetektoriai (Pagrindinis dėmesys į CMS)





# CMS Magnetas



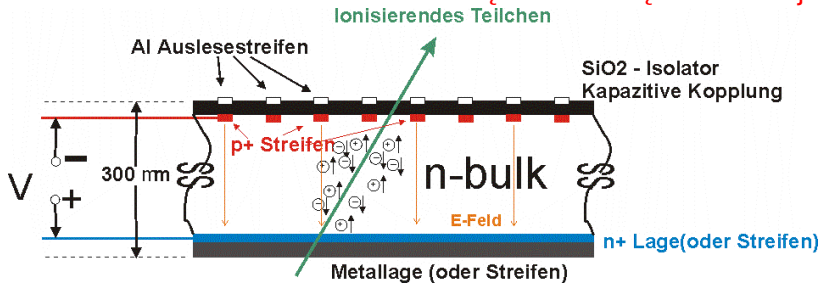
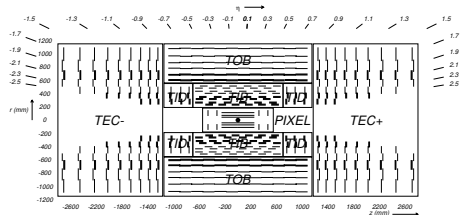
- Superlaidus solenoidinis magnetas,  $B = 4 \text{ T}$
- Srovės stipris: 20 kA
- Superlaidininkas: NbTi ( $\sim 4 \text{ K}$ )
- Matmenys:  $13 \times 4 \text{ m}$  — talpiną trekerį ir kalorimetrus
- Kaina  $\sim 80 \text{ MCHF}$



# Puslaidininkinis Trekeris

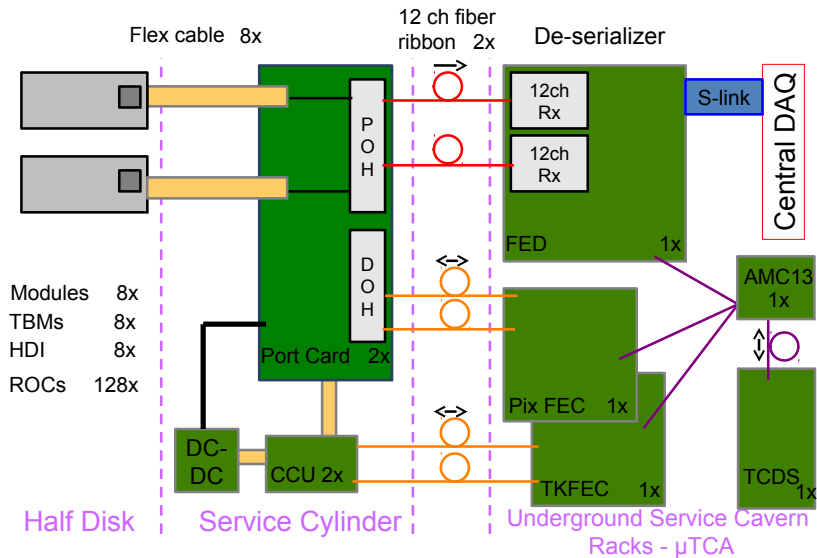
## Esminiai faktai:

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



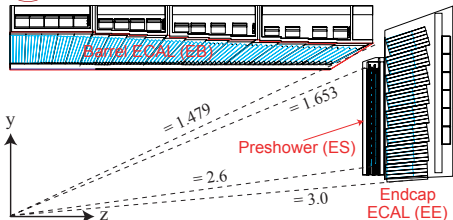


# Pilna Pirmos Fazės Pixel Detektoriaus Schema



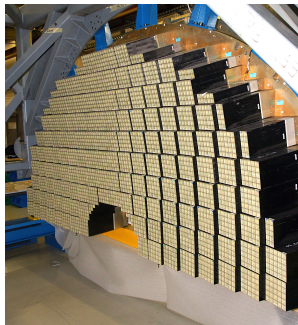
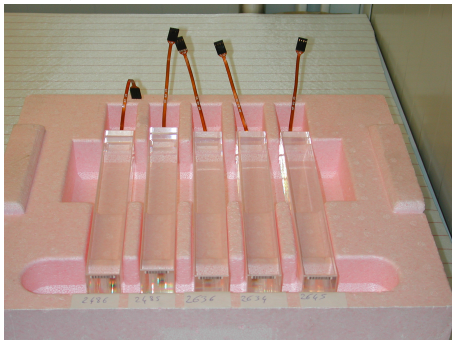


# Elektromagnetinis Kalorimetras (ECAL)



## Esminiai faktai:

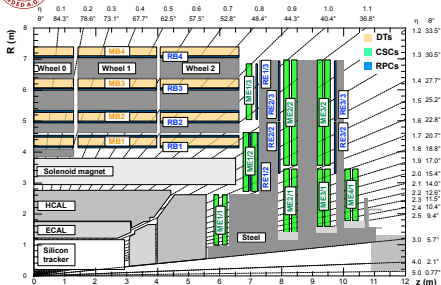
- Švino tungstato kristalai ( $\text{PbWO}_4$ ).
- Matouja energiją:  $e^\pm, \gamma$  (radiacinis ilgis:  $25X_0$ ).





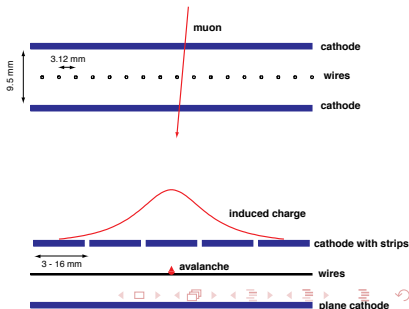
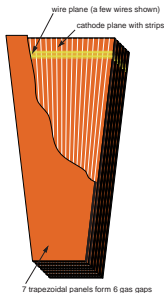


# Muoninis Detektorius



## Esminiai faktai:

- Dujiniai detektoriai.
- Svarbu muonų identifikacijai.
- Naudojama greitame filtrė.





# Filtras (Trigger)



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

- Susidūrimai vyksta 40 MHz dažniu.
- Pirmos pakopos filtras „karštas“ (online): 100 kHz.  
Naudojamos sistemos: muoninė, ECAL, HCAL.
- Aukšto lygio filtras 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**

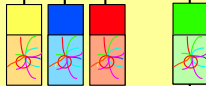
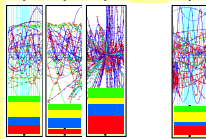
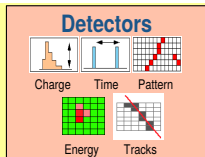
DAQ accepts  
Level-1 rate of 100kHz

**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**



**Computing services**

**16 Million channels**  
**3 Gigacell buffers**

**1 Megabyte EVENT DATA**

**200 Gigabyte BUFFERS**  
**500 Readout memories**

**EVENT BUILDER.** A large switching network (512+512 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

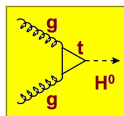
- LHC sistemos yra „pasidaryk pats” tipo:
  - Nuo detalių iki prog. įrangos (hardware, firmware, software)
- Detalės yra savotiški prototipai (reikalinga kalibracija).
- Projektuojant viską sunku numatyti.
- Duomenų rinkimo sąlygos keičiasi nuo laiko: 8, 13 TeV, ...



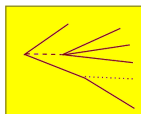
Bėgantis taikinyš



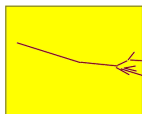
# From Physics to Raw Data



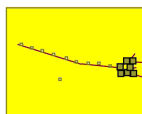
**Basic physics**



**Fragmentation,  
Decay**



**Interaction with  
detector material**  
Multiple scattering,  
interactions



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

2037	2446	1733	1699
4003	3611	952	1328
2132	1870	2093	3271
4732	1102	2491	3216
2421	1211	2319	2133
3451	1942	1121	3429
3742	1288	2343	7142

**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...

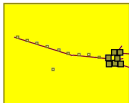


# From Physics to Raw Data

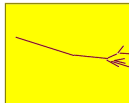
```
2037 2446 1733 1699
4003 3611 952 1328
2132 1870 2093 3271
4732 1102 2491 3216
2421 1211 2319 2133
3451 1942 1121 3429
3742 1288 2343 7142
```

**Raw data**

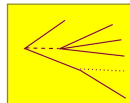
Convert to  
physics  
quantities



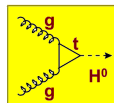
**Detector  
response**  
apply  
calibration,  
alignment



**Interaction with  
detector material**  
Pattern,  
recognition,  
Particle  
identification



**Fragmentation  
Decay**  
Physics  
analysis



**Basic physics**

Results



- 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.



Dėkui už dėmesį!