



Branduolių ir
elementariųjų
dalelių fizikos
centras

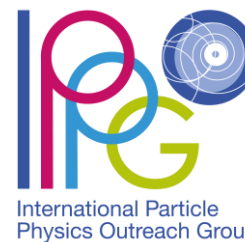


kauno
technologijos
universitetas



VILNIUS
TECH

Vilniaus Gedimino
technikos universitetas



International Particle
Physics Outreach Group



Tarptautinė elementariųjų dalelių fizikos meistriškumo pamoka 2024

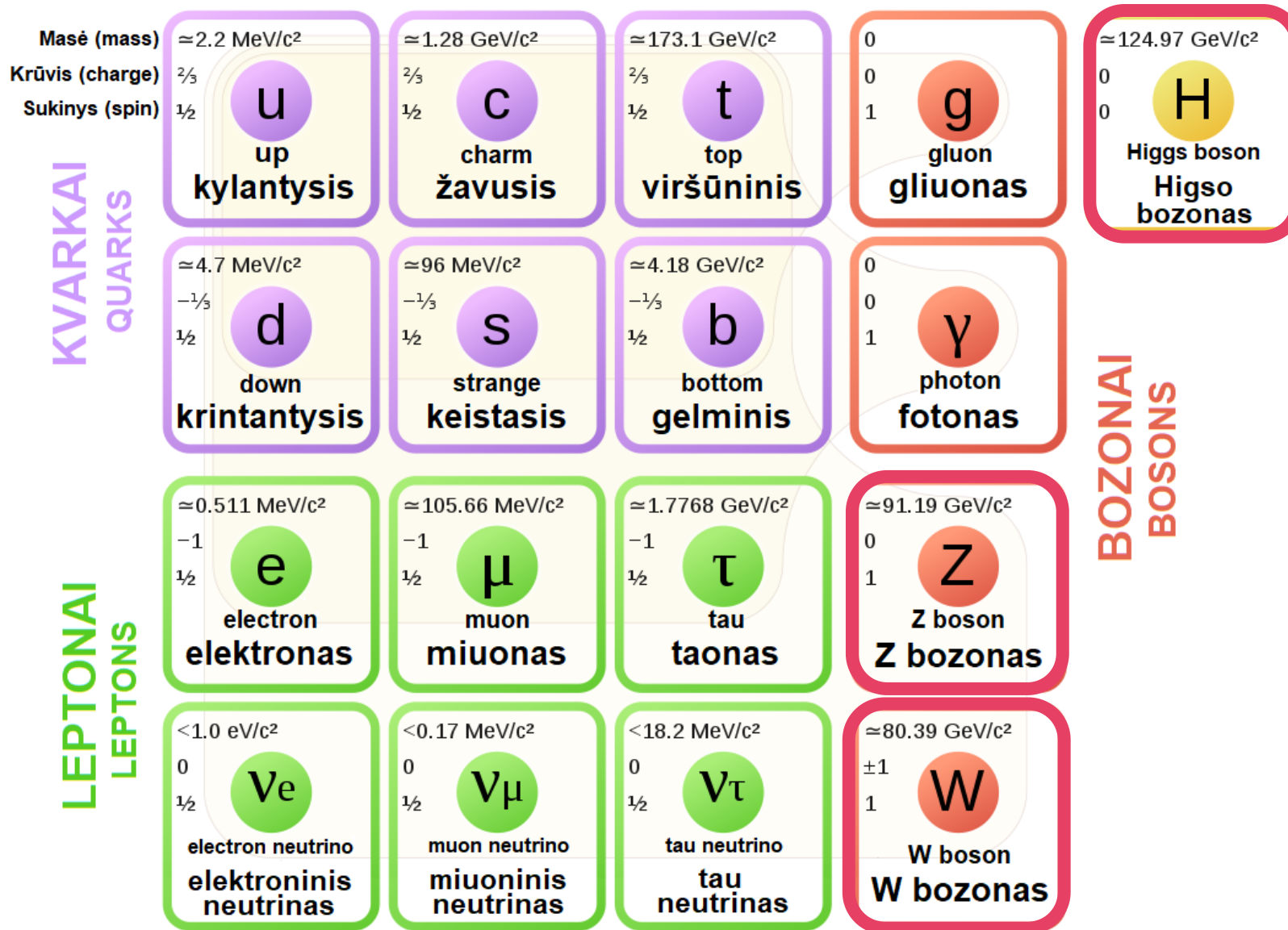
W, Z ir Higso bozonų paieška

Marijus Ambrozas

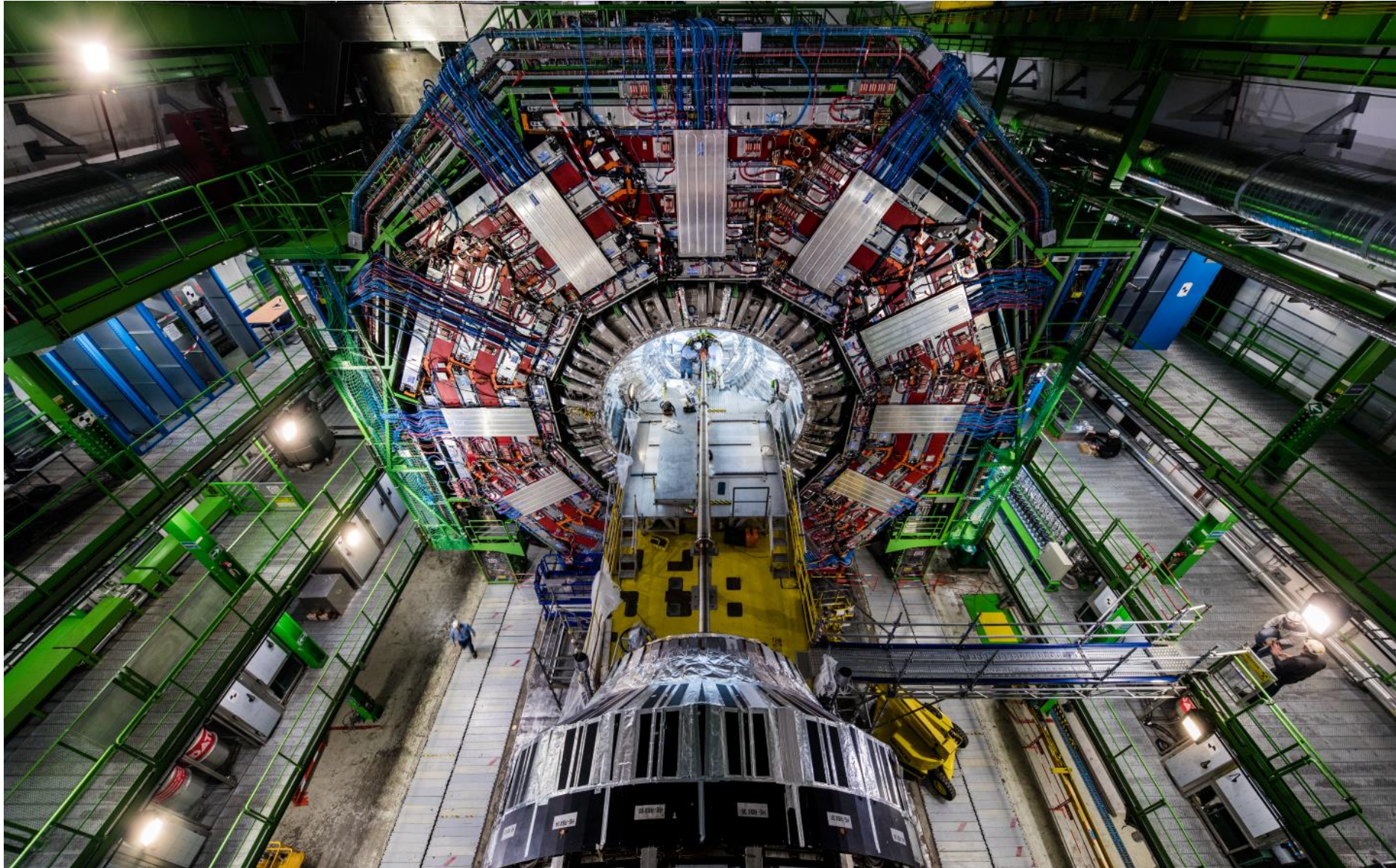
marijus.ambrozas@ff.vu.lt

2024-03-27

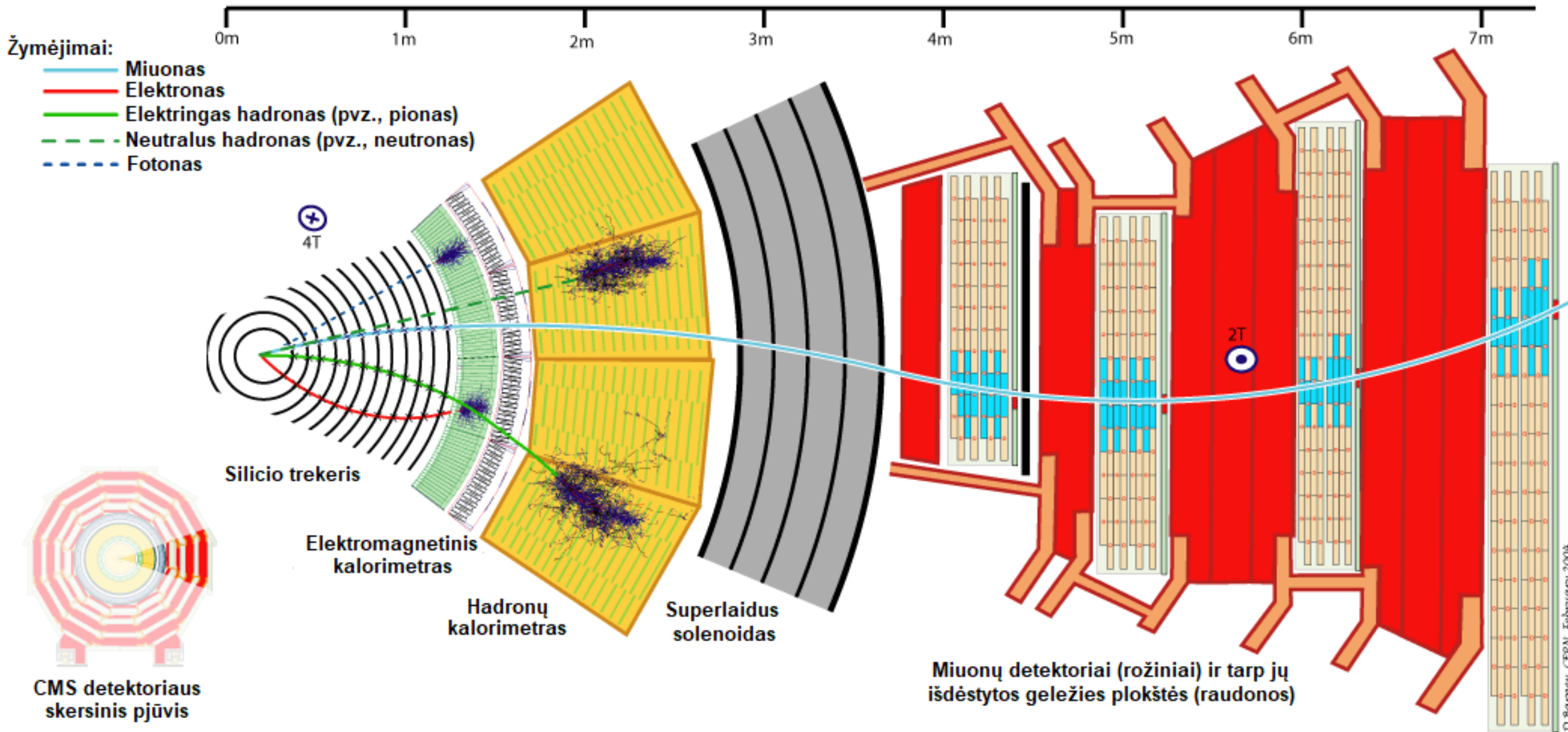
Standartinis modelis



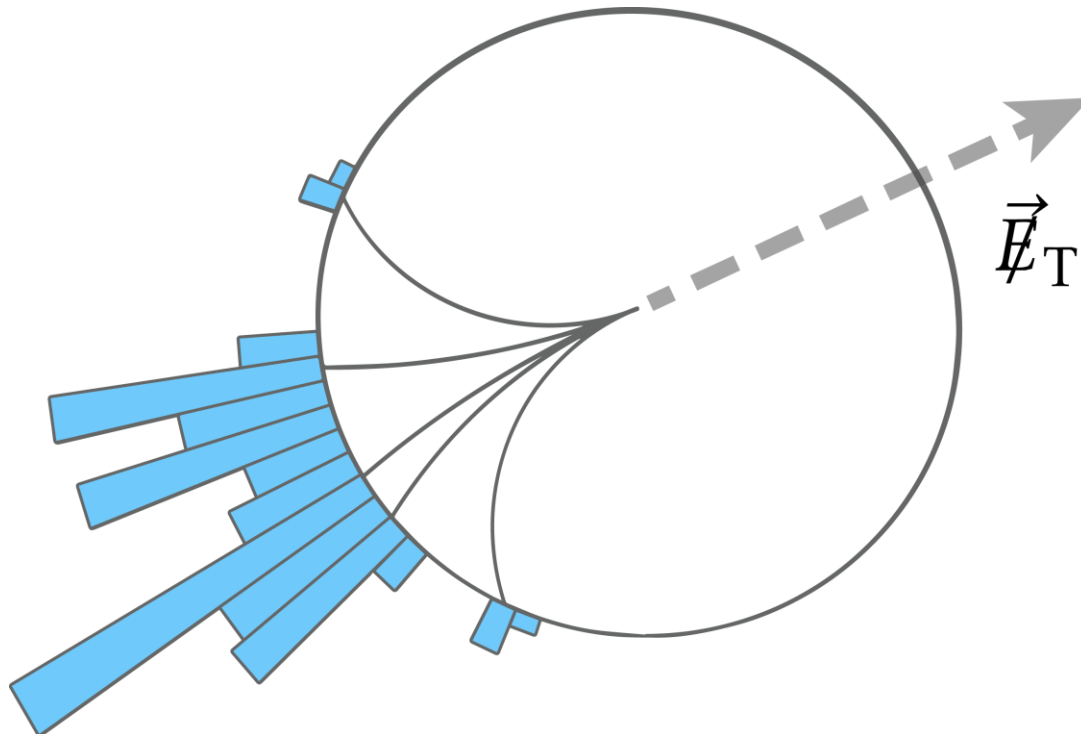
CMS – Kompaktiškasis miuonų solenoidas



CMS detektorius



- **Svarbu:** CMS detektoriumi neįmanoma užregistruoti neutrino (ν)
- Vis dėlto, galima apskaičiuoti, ar bendra visų užregistruotų dalelių **skersinių judesio kiekių** vektorinė suma duoda nulinį vektorių
- Jeigu ne – galima įtarti, kad viena ar kelios dalelės „pabėgo“ iš detektoriaus neaptiktos (kažkuria kryptimi trūksta skersinio judesio kiekio vektoriaus)

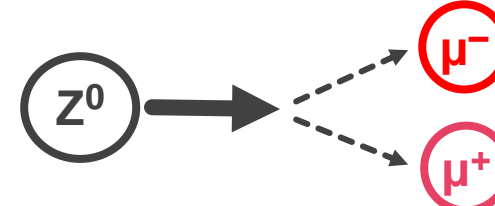
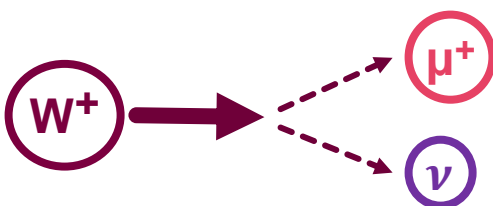
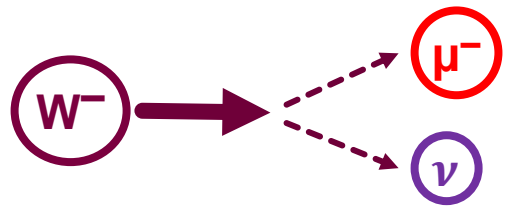
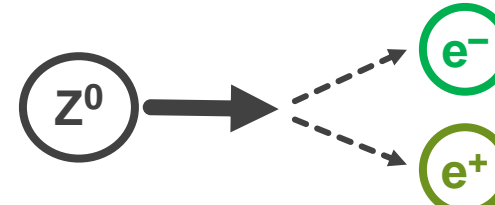
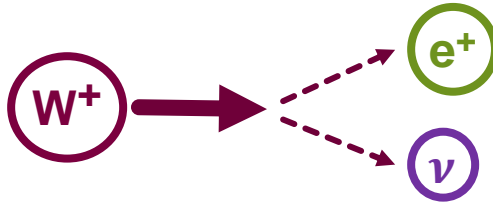
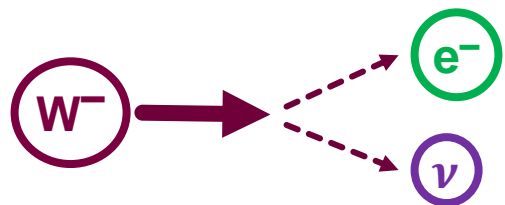


Skersinis judesio kiekis – tai dalelės judesio kiekio dedamoji, statmena susiduriančių protonų lėkimo kryptčiai.

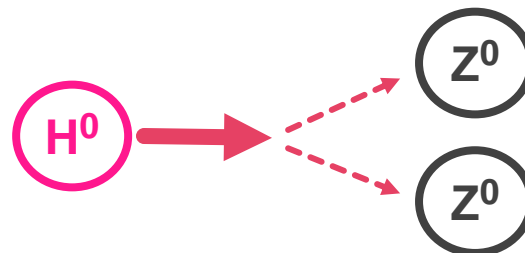
○ kaip aptinkami W , Z ir H bozonai?

W , Z ir H bozonai skyla taip greitai, kad įmanoma aptikti tik jų skilimo produktus

Pavyzdžiui, W ir Z bozonai gali skilti į *leptonus*:



■ **Higso bozonas** gali skilti taip:



Leptonai – tai pusinio sukinio elementariosios dalelės, kurios nesąveikauja stipriąja sąveika: elektronai (e), miuonai (μ), taonai (τ), neutrinai (ν).

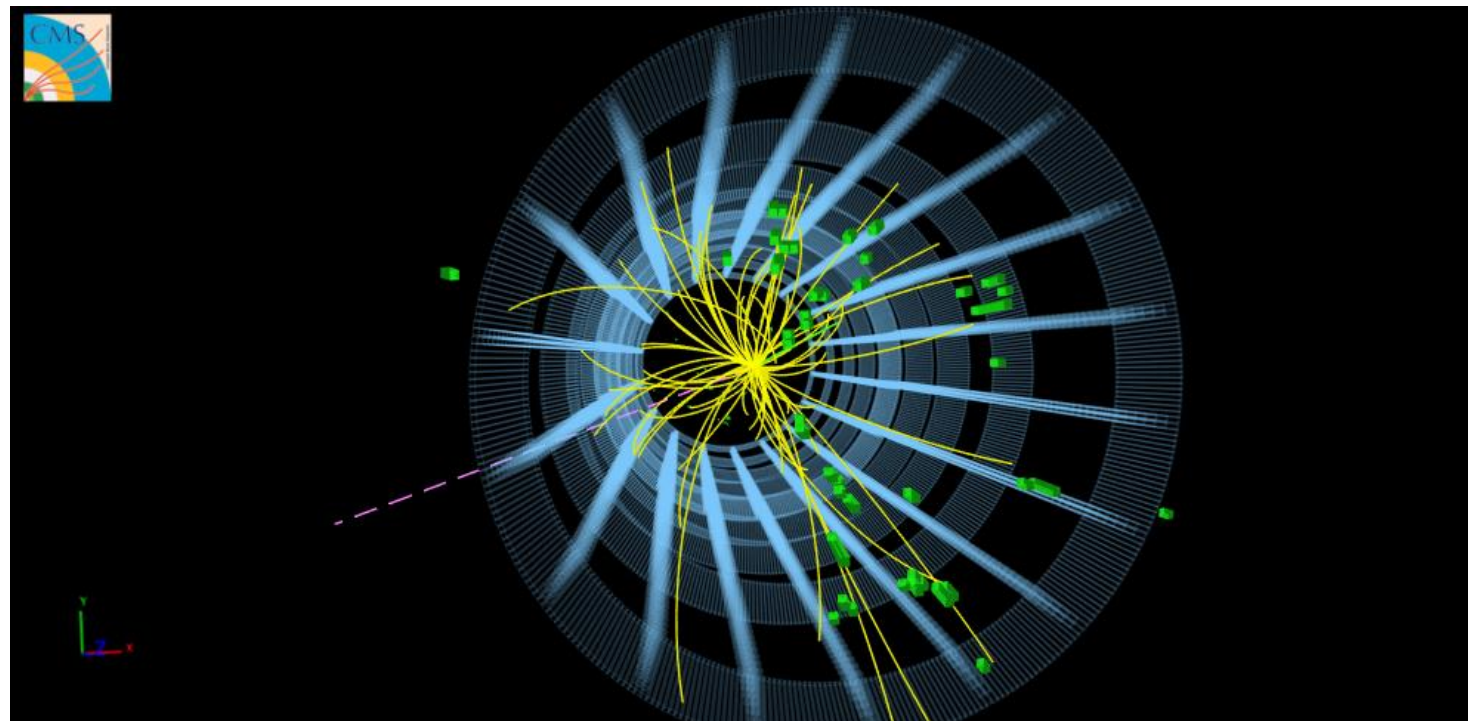
Tai ką vis dėlto reikės daryti?



- Peržiūrėti 100 CERN CMS detektoriumi užfiksuotų protonų susidūrimų įvykių „nuotraukų“, naudojantis **iSpy WebGL** programa
- Atpažinti užfiksuotus elektronų ir miuonų (bei jų antidalelių) pėdsakus
- Nuspręsti, ar matomas įvykis galėtų būti W arba Z bozono įvykis. O galbūt jums pasisekė pamatyti Higgs bozono įvykį?
- Savo stebėjimų rezultatus supildyti į **CIMA** duomenų bazę

Kaip pradėti?

- Su programa **iSpy WebGL** ir duomenų baze **CIMA** galima dirbti per kompiuterio interneto naršyklę
- Reikiamas nuorodas rasite nuėję į internetinį puslapį, esantį adresu <https://web.quarknet.org/mc/cms/imc2021/pages/cmswzlt.html>
- Šiame puslapyje taip pat rasite paaiškinimus lietuvių kalba



Prisijungimas prie CIMA

Prieš pradėdant įvykių peržiūrą su **iSpy WebGL** reikėtų prisijungti prie **CIMA**

- Keliaujame šiuo adresu: <https://www.i2u2.org/elab/cms/cima-wzh/>
 - (Adresą galėsite rasti meistriškumo pamokos internetiniame puslapyje)
- Turėtumėte pasiekti pavaizduotą puslapį
- Pasirinkite meistriškumo mokyklą (CERN-27Mar2024 → VilniusUni2024) ir savo grupės numerį (bus nurodytas).



Choose your Masterclass	Choose your location	Choose your data file
CERN-19Mar2024	VilniusUni2024	100.1
CERN-22Mar2024	Kaunas2024	100.11
CERN-27Mar2024	Nicosia2024-C	100.12
FNAL-01Mar2024	Padova2024	100.13
FNAL-08Mar2024	Helsinki2024-B	100.14
FNAL-09Mar2024		100.15

Jeigu viską padarėte teisingai, ekrane turėtumėte išvysti tokį vaizdą:

Back Events Table (Group 100.11) Mass Histogram (Vilnius2021) Results (Vilnius2021) [Event Display](#)

Masterclass: CERN-24Feb2021

Location: Vilnius2021

Group: 100.11

Select Event Event index: <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="v"/> Event number: 100.11-1	Final State <input type="radio"/> e v <input type="radio"/> μ v <input type="radio"/> e e <input type="radio"/> μ μ <input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4 μ <input type="radio"/> 2e 2 μ	Primary State Charged Particle: <input type="radio"/> W+ <input type="radio"/> W- <input type="radio"/> W \pm <input type="radio"/> Neutral Particle (Z, H) <input type="radio"/> Zoo	Enter Mass <input type="text"/> GeV/c ² <input type="button" value="Next"/>
---	--	--	---

Event index	Event number	Final state	Primary state	Mass
-------------	--------------	-------------	---------------	------

Duomenų įvedimas į CIMA susidės iš keturių etapų:

Select Event

Event index: ▼

Event number: 10.7-1

1. Pasirenkame įvykio numerį

Final State

e v μ v

e e μ μ

4e 4 μ

2e 2 μ

2. Nurodome, kokias daleles pastebėjome

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle
(Z, H)

Zoo

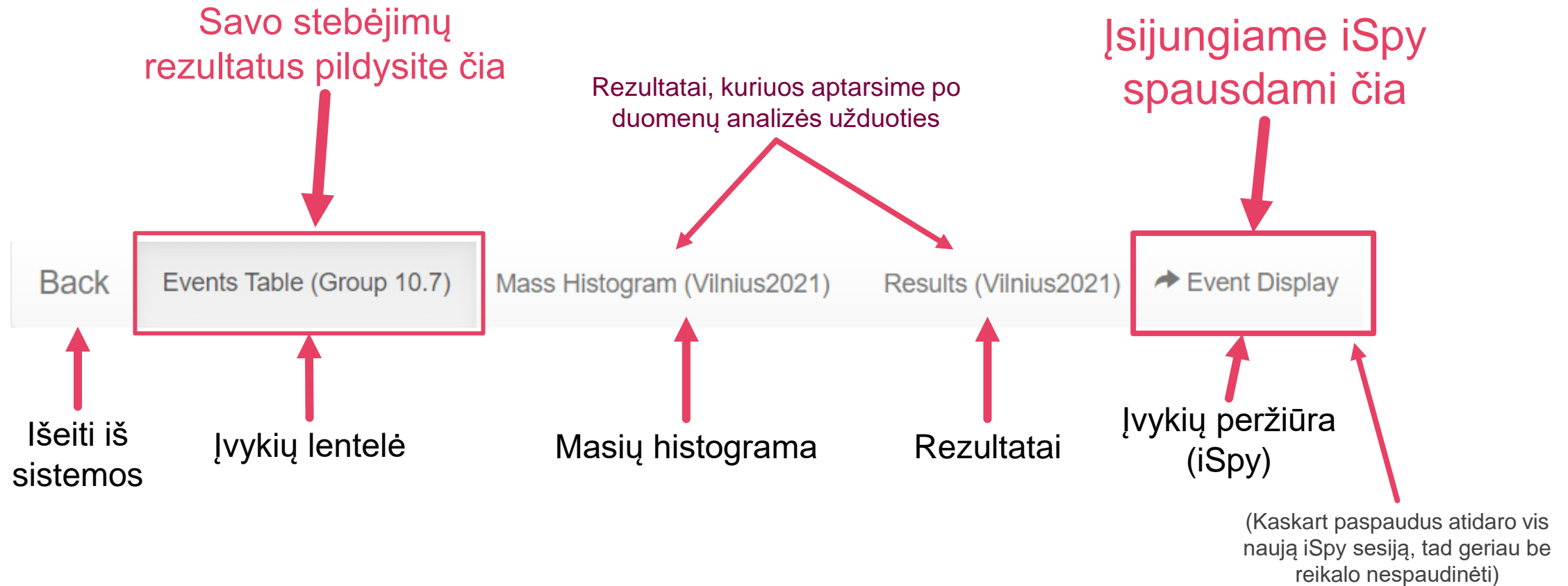
3. Nurodome, kokios dalelės skilimą įtariame

Enter Mass

GeV/c²

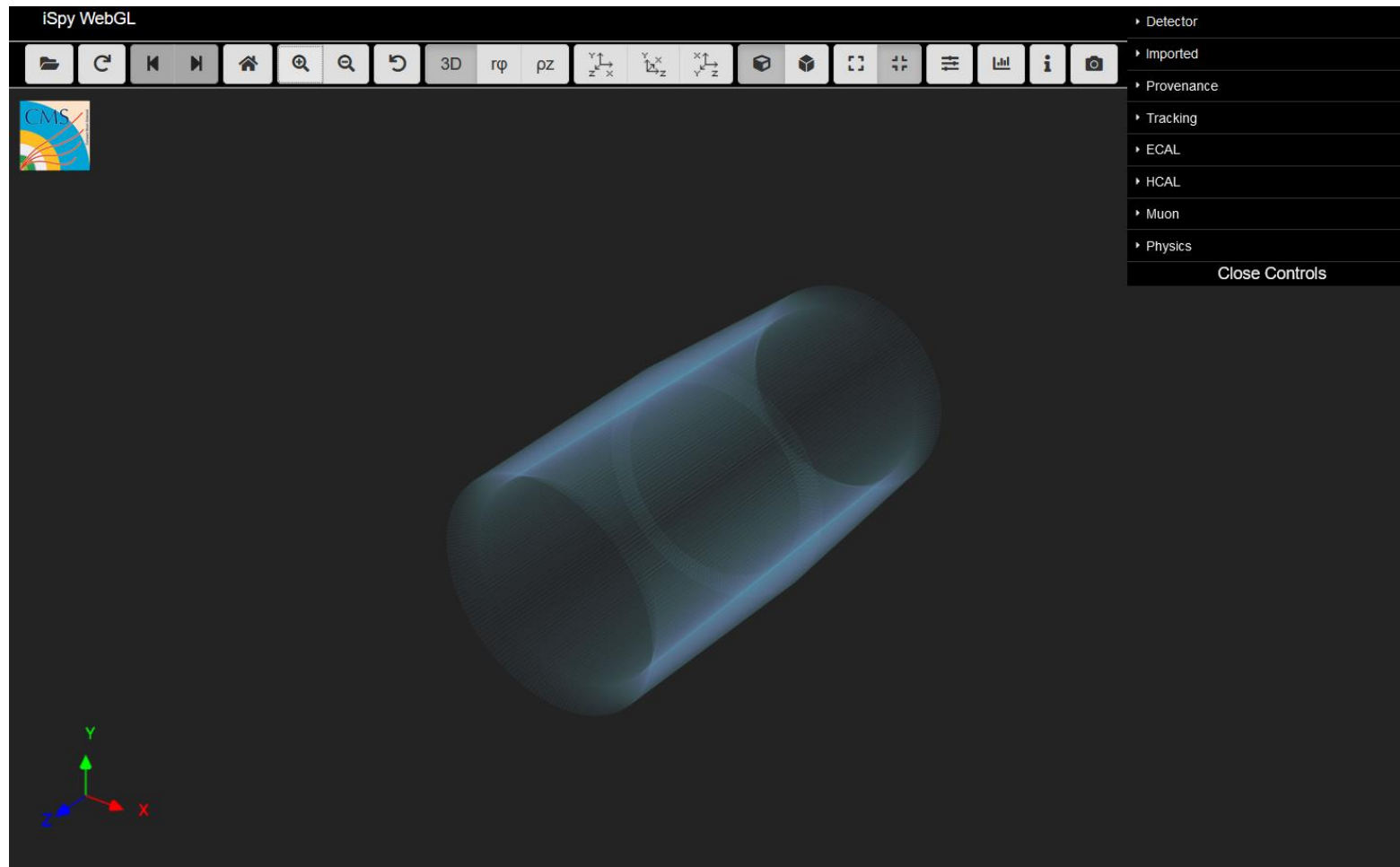
4. Įvedame dalelių sistemos masę (jei reikia) ir įrašome įvykį į sistemą

Viršuje pamatysime penkias pagrindines skiltis



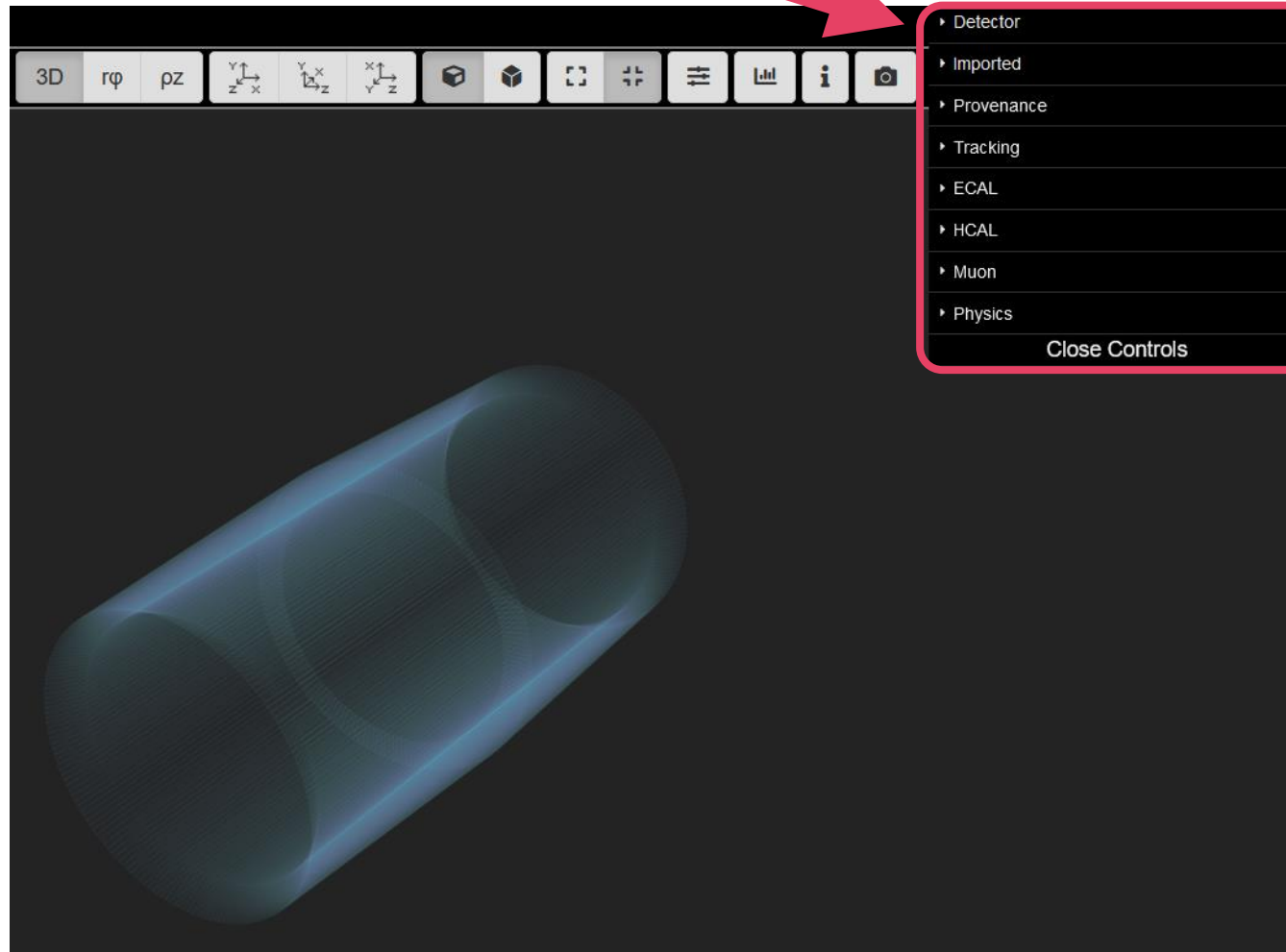
Įvykių peržiūros programa iSpy

Paspaude ant CIMA puslapyje esančios nuorodos turėtume atsidurti naujame naršyklės lange su tokiu vaizdu



Programa iSpy: detektorius

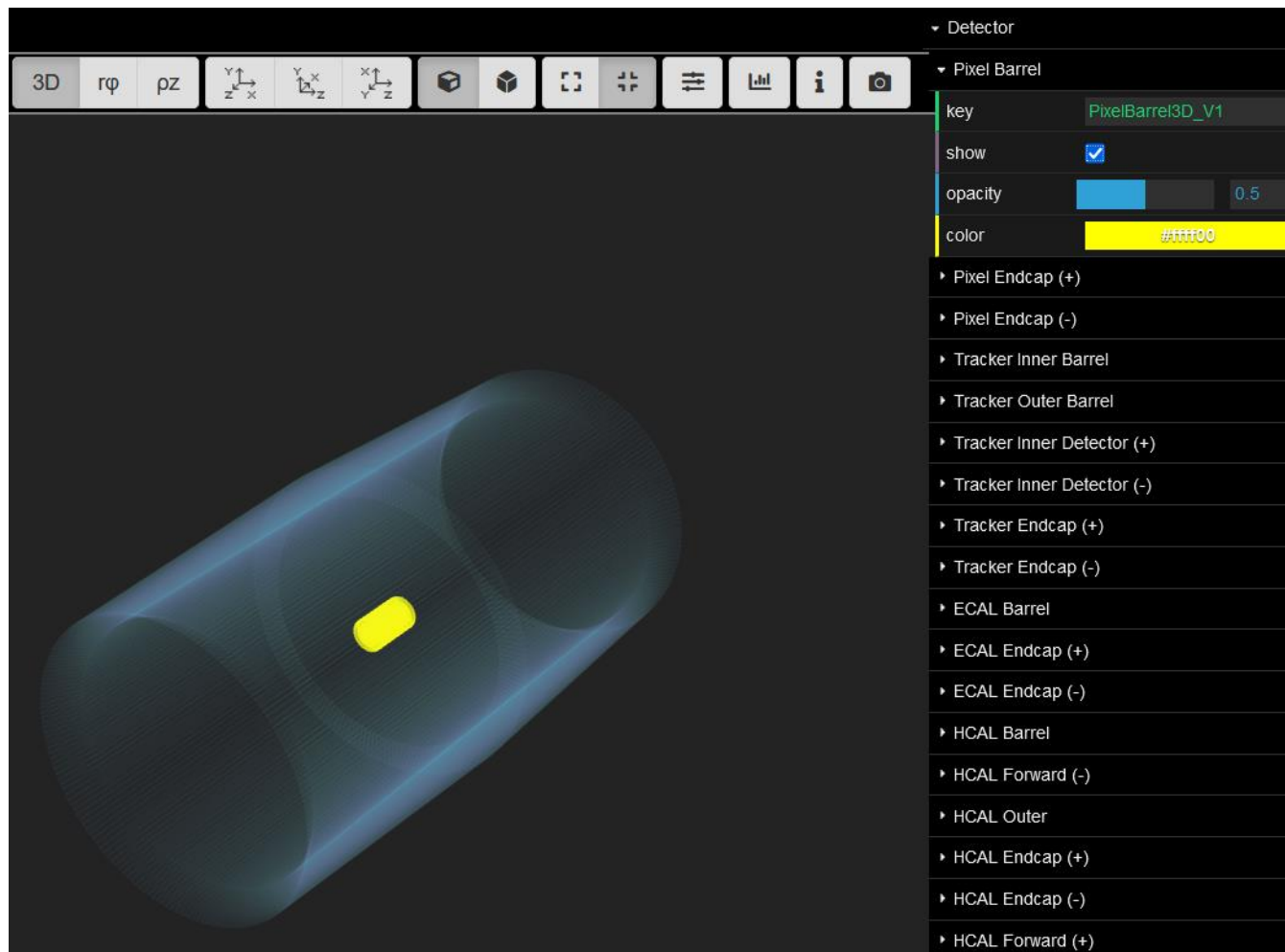
Visų detektoriaus komponentų rodymą galima įjungti arba išjungti naudojant **dešinėje ekrano pusėje** esantį meniu „Detector“



Bet rekomenduojama viską palikti taip, kaip buvo pradžioje

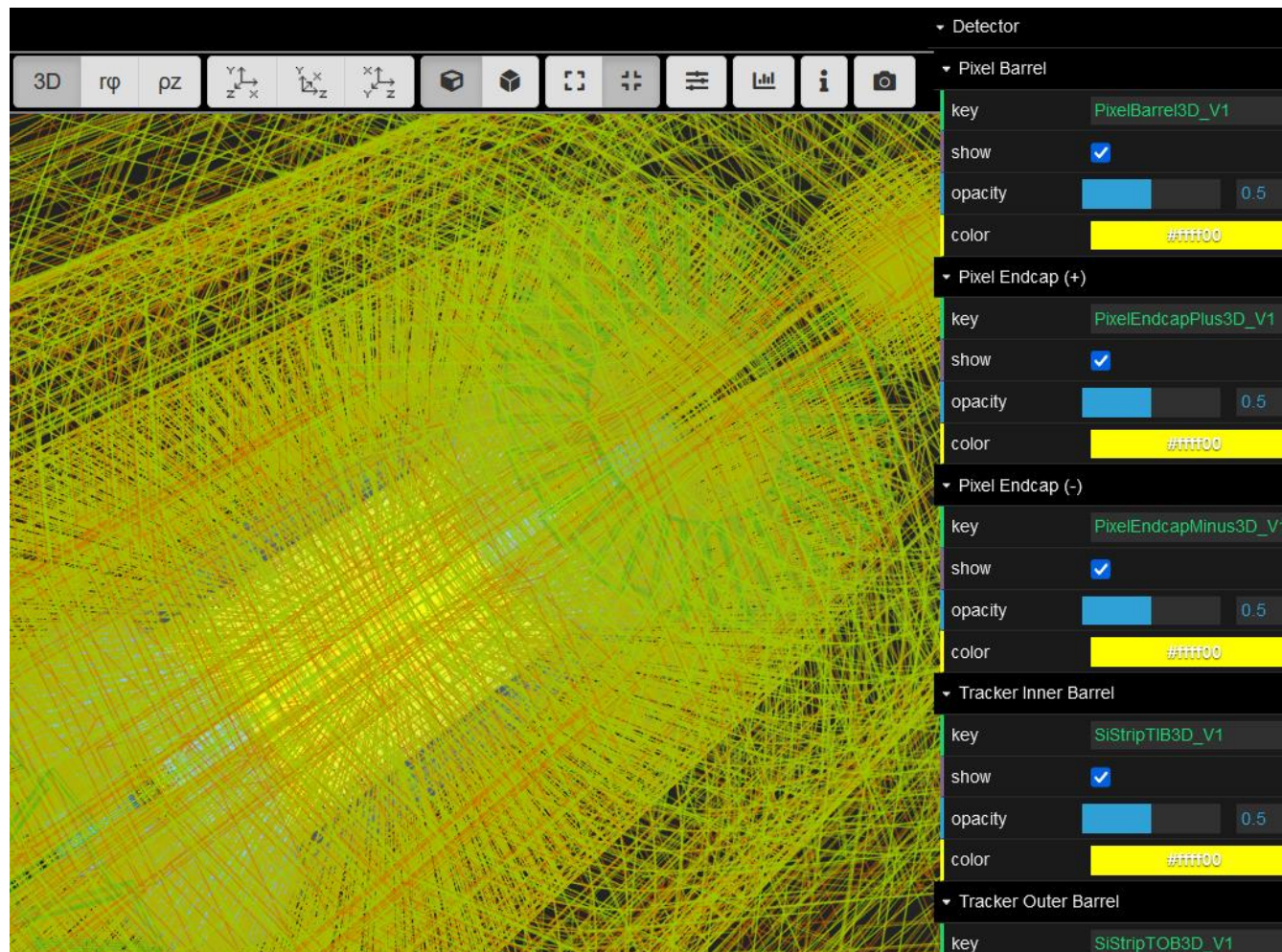
Programa iSpy: detektorius

Visų detektoriaus komponentų rodymą galima įjungti arba išjungti naudojant **dešinėje ekrano pusėje** esantį meniu „Detector“



Programa iSpy: detektorius

Visų detektoriaus komponentų rodymą galima įjungti arba išjungti naudojant **dešinėje ekrano pusėje** esantį meniu „Detector“

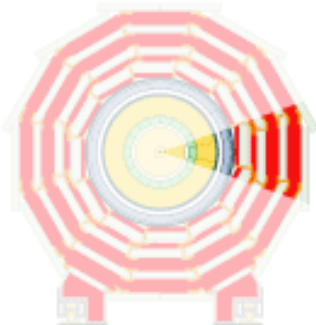
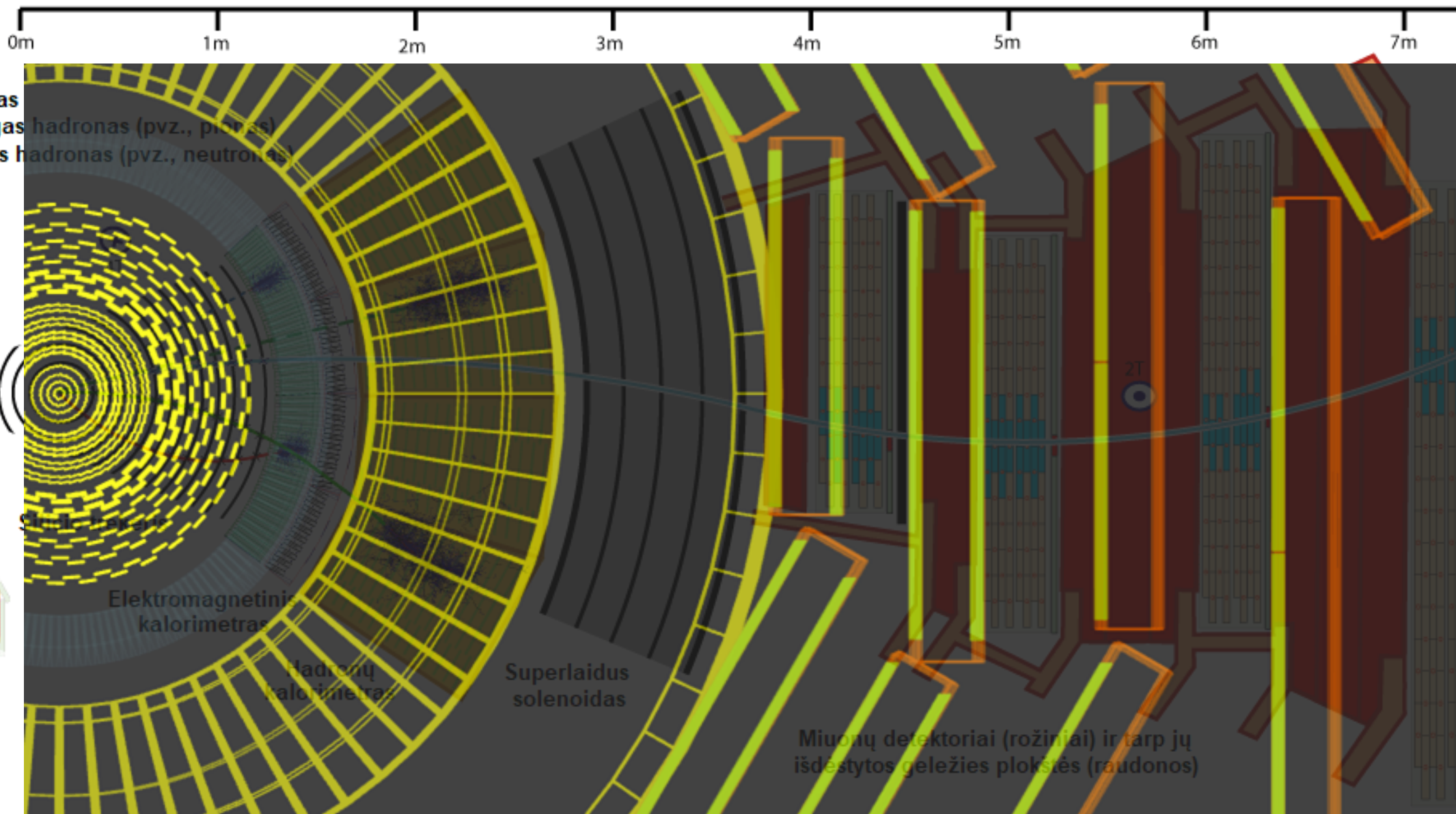


Bet rekomenduojama viską palikti taip, kaip buvo pradžioje

Programa iSpy: detektorius

Žymėjimai:

- Miūonas
- Elektronas
- Elektringas hadronas (pvz., pironas)
- Neutralus hadronas (pvz., neutronas)
- Fotonas

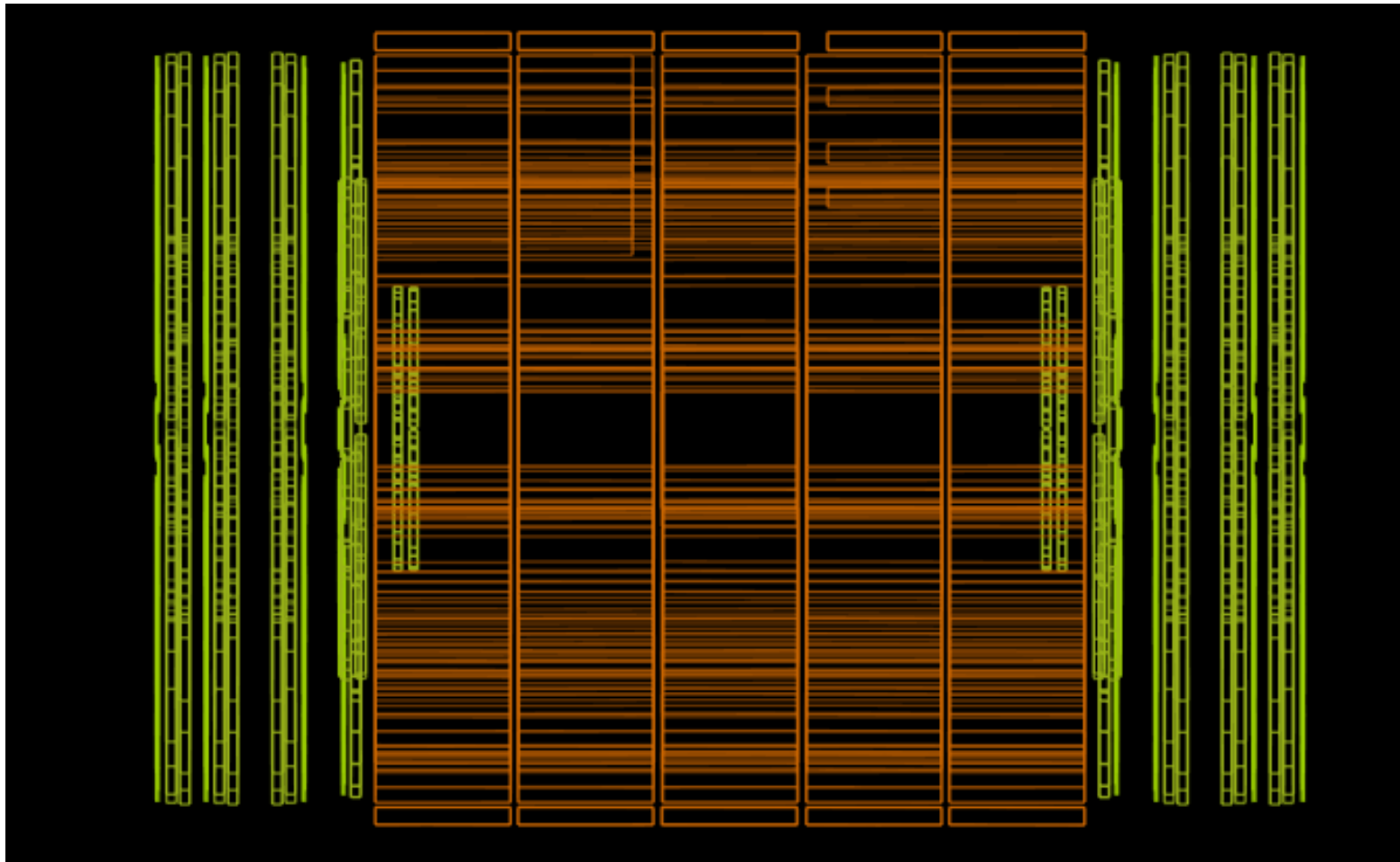


CMS detektoriaus skersinis pjūvis

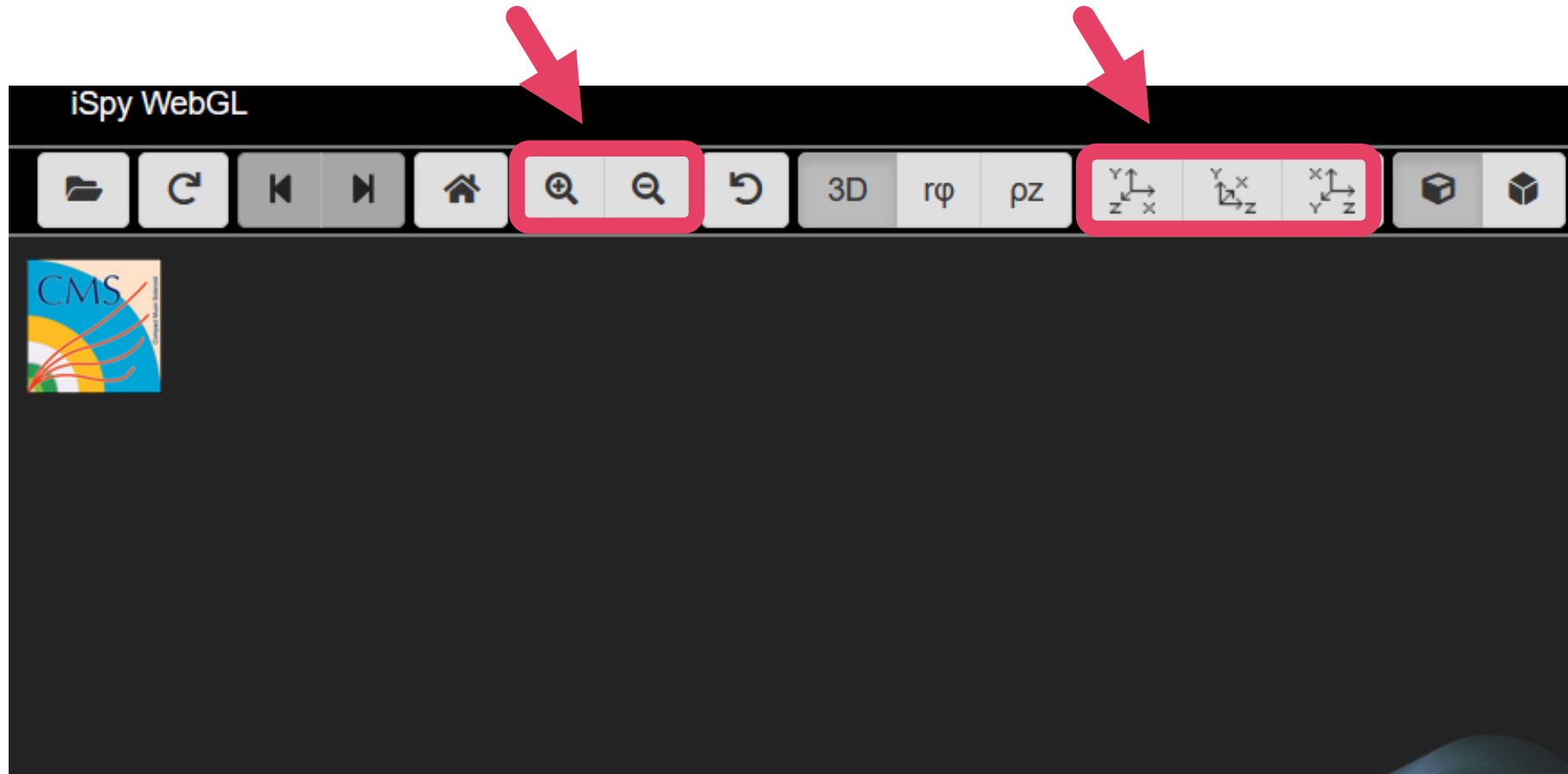
D.Šarnė, CERN, February 2004

Programa iSpy: detektorius

Visos detektoriaus dalys turi tiek „cilindro“ (angl. *barrel*), tiek „antgalių“ (angl. *endcap*) segmentus.

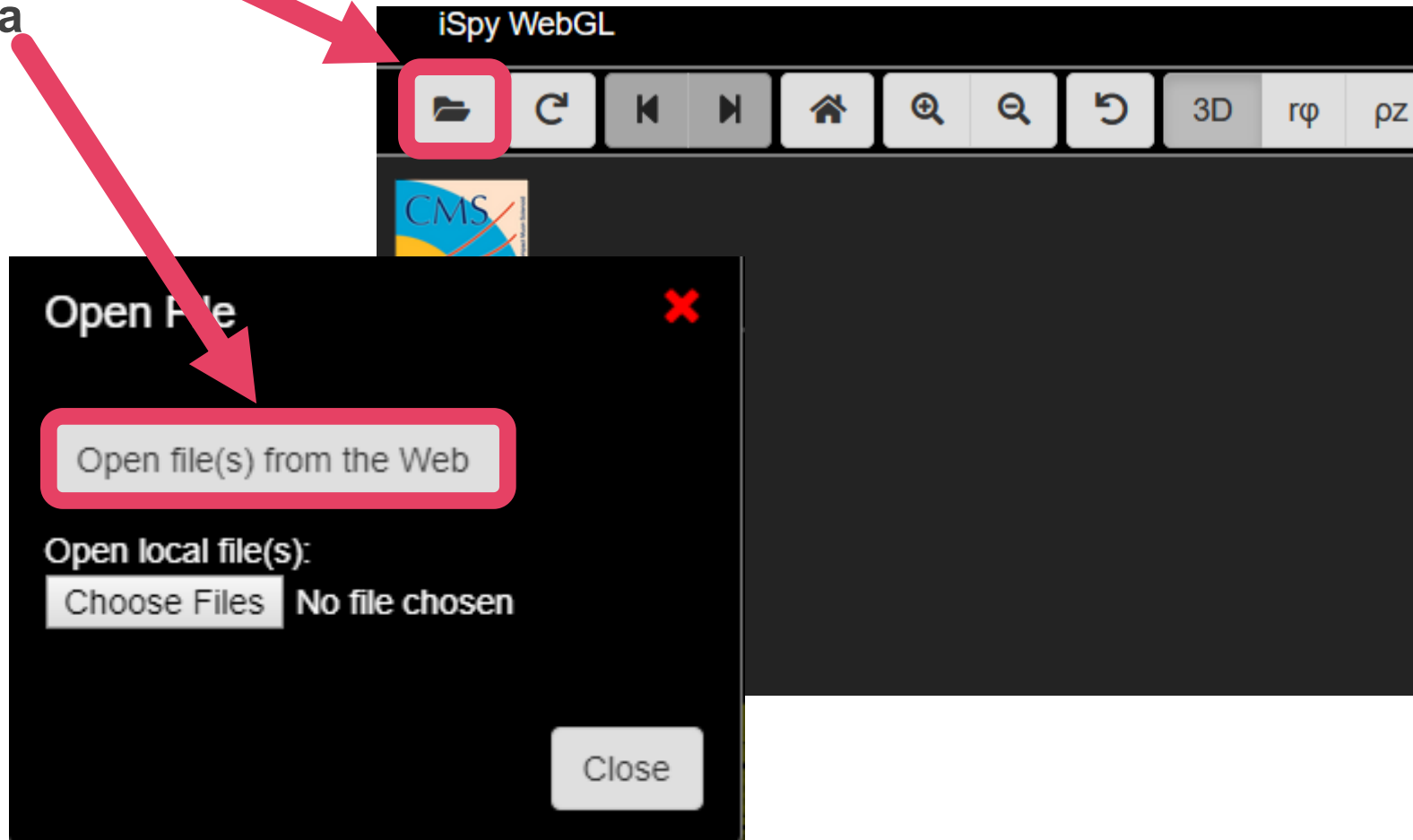


Detektoriaus rodymą galima paprastai reguliuoti naudojant šiuos mygtukus



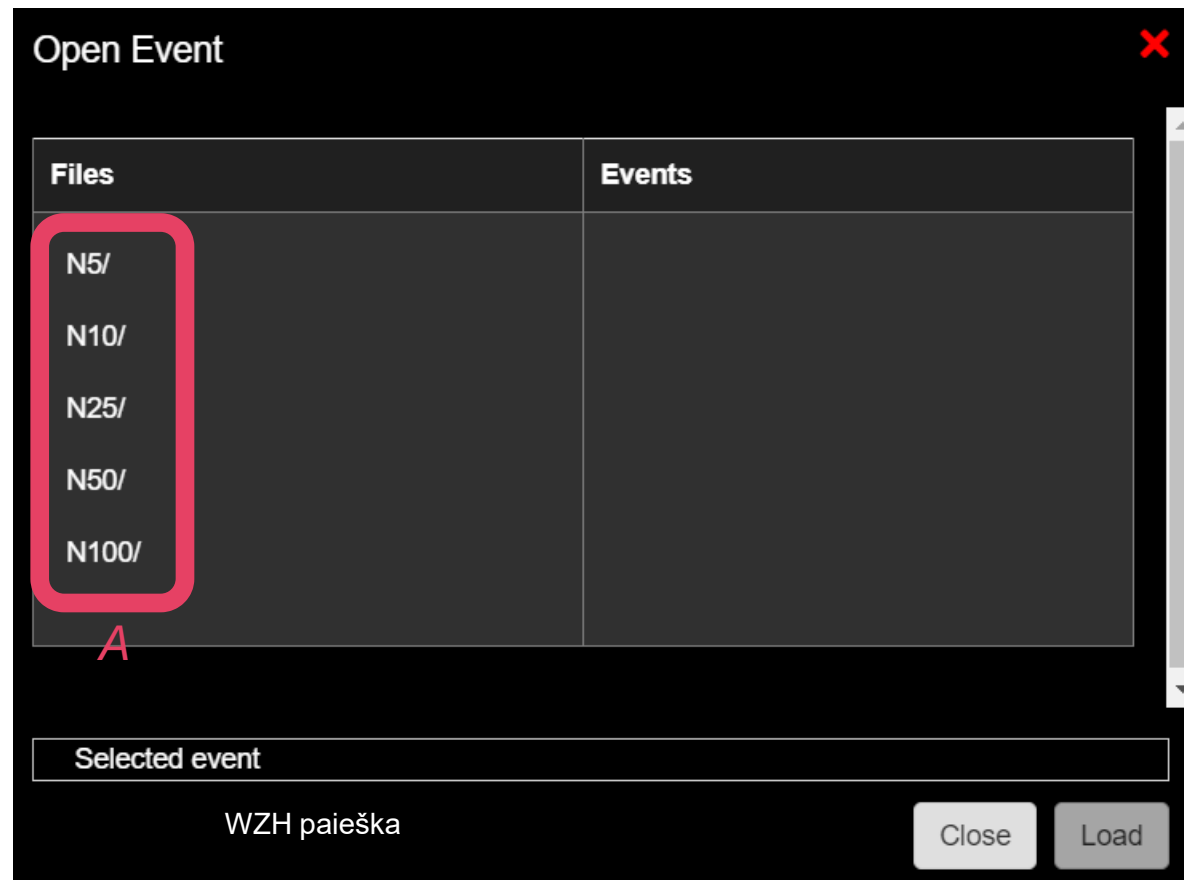
Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

- Dabar jau galima pradėti peržiūrėti protonų susidūrimo įvykius
- Spaudžiame **čia**
- O tada **čia**



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

- Iššokusiam sąrašė pasirenkame aplanką pavadinimu **NA**



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

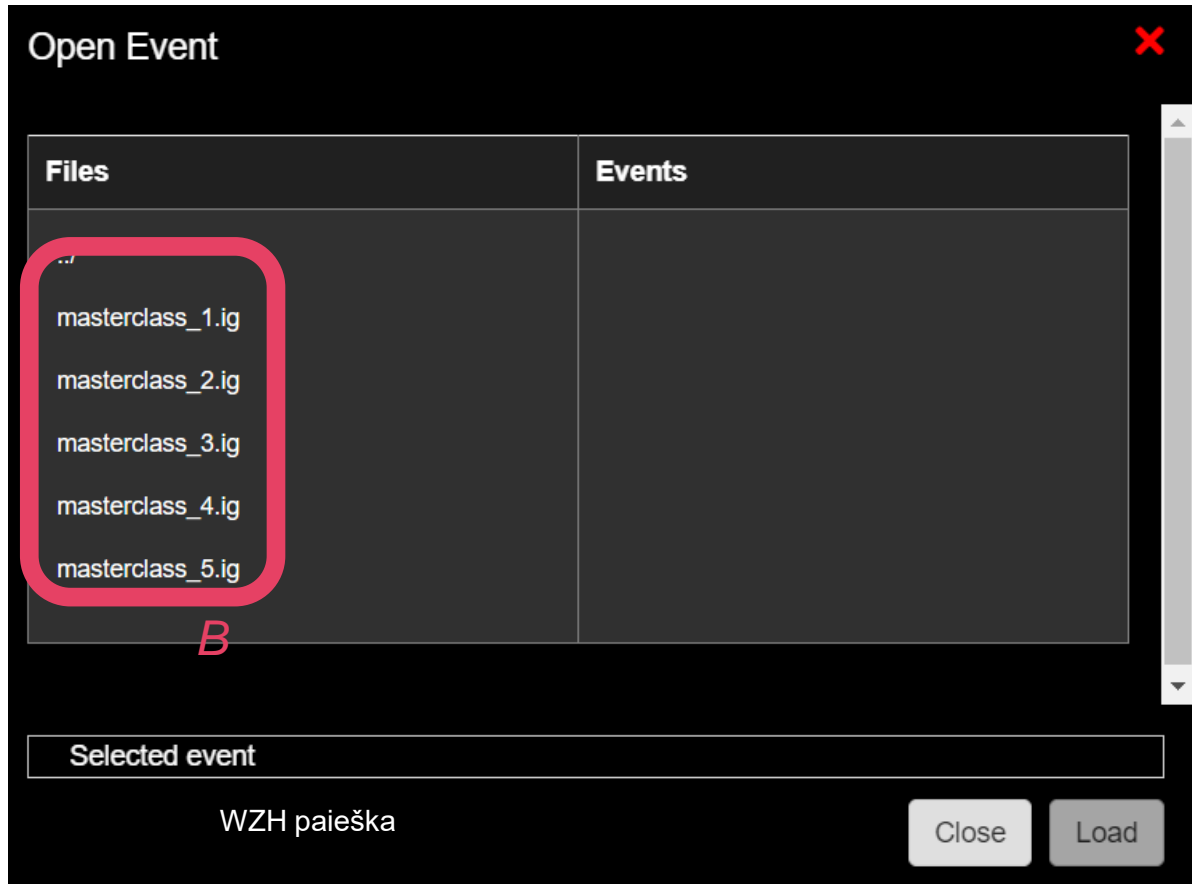
- Iššokusiam sąrašė pasirenkame aplanką pavadinimu **NA**
- Tada pasirenkame failą su užrašu *masterclass_***B**

- *A* ir *B* žymi skaičius, kurie jums bus priskirti
- Tai tie patys skaičiai, kuriuos turėsite pasirinkti CIMA duomenų bazėje

Choose your data file

- 10.7
- 10.8
- 100.10
- 100.9
- 25.11
- 25.12
- 25.13

A.B



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

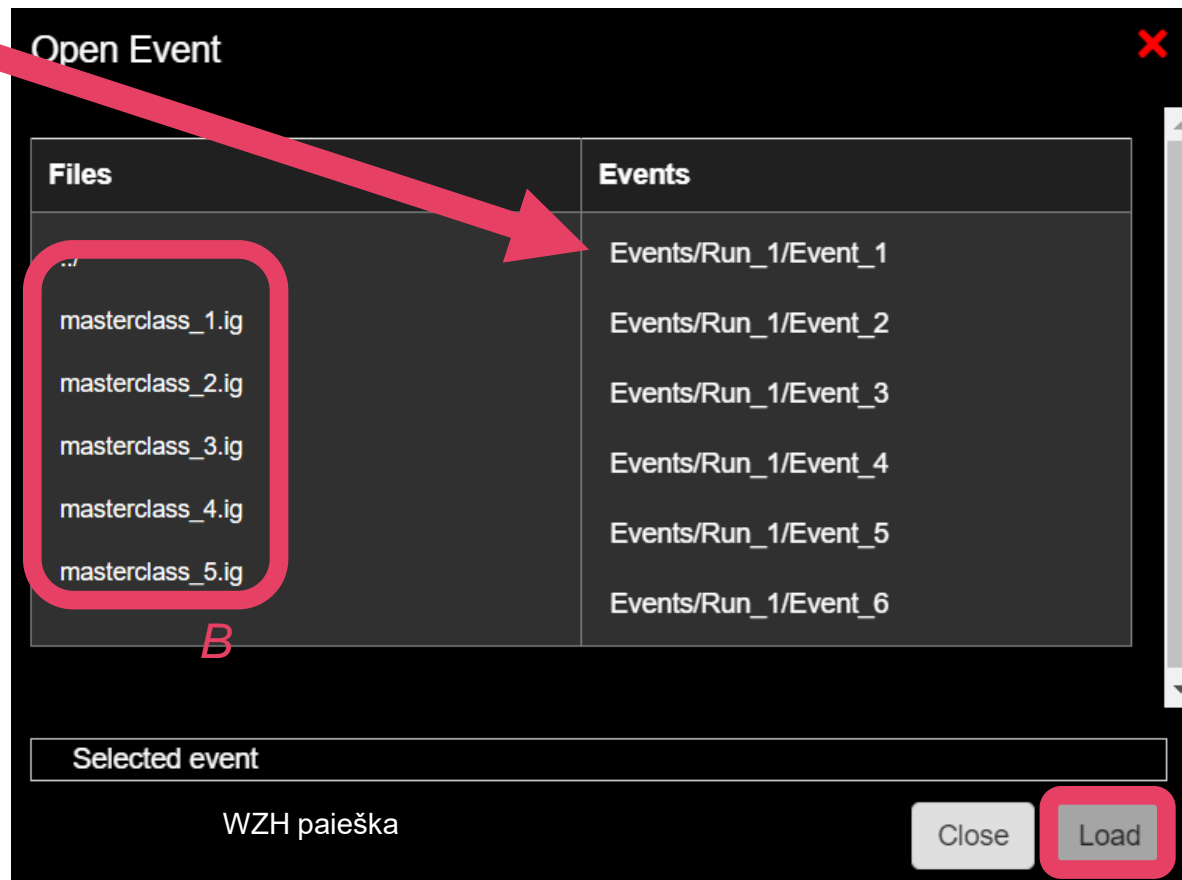
- Iššokusiam sąrašą pasirenkame aplanką pavadinimu **NA**
- Tada pasirenkame failą su užrašu *masterclass_***B**
- Pasirenkame pirmąjį įvykį
- Spaudžiame **Load**

- *A* ir *B* žymi skaičius, kurie jums bus priskirti
- Tai tie patys skaičiai, kuriuos turėsite pasirinkti CIMA duomenų bazėje

Choose your data file

10.7
10.8
100.10
100.9
25.11
25.12
25.13

A.B



Open Event

Files	Events
...	Events/Run_1/Event_1
masterclass_1.ig	Events/Run_1/Event_2
masterclass_2.ig	Events/Run_1/Event_3
masterclass_3.ig	Events/Run_1/Event_4
masterclass_4.ig	Events/Run_1/Event_5
masterclass_5.ig	Events/Run_1/Event_6

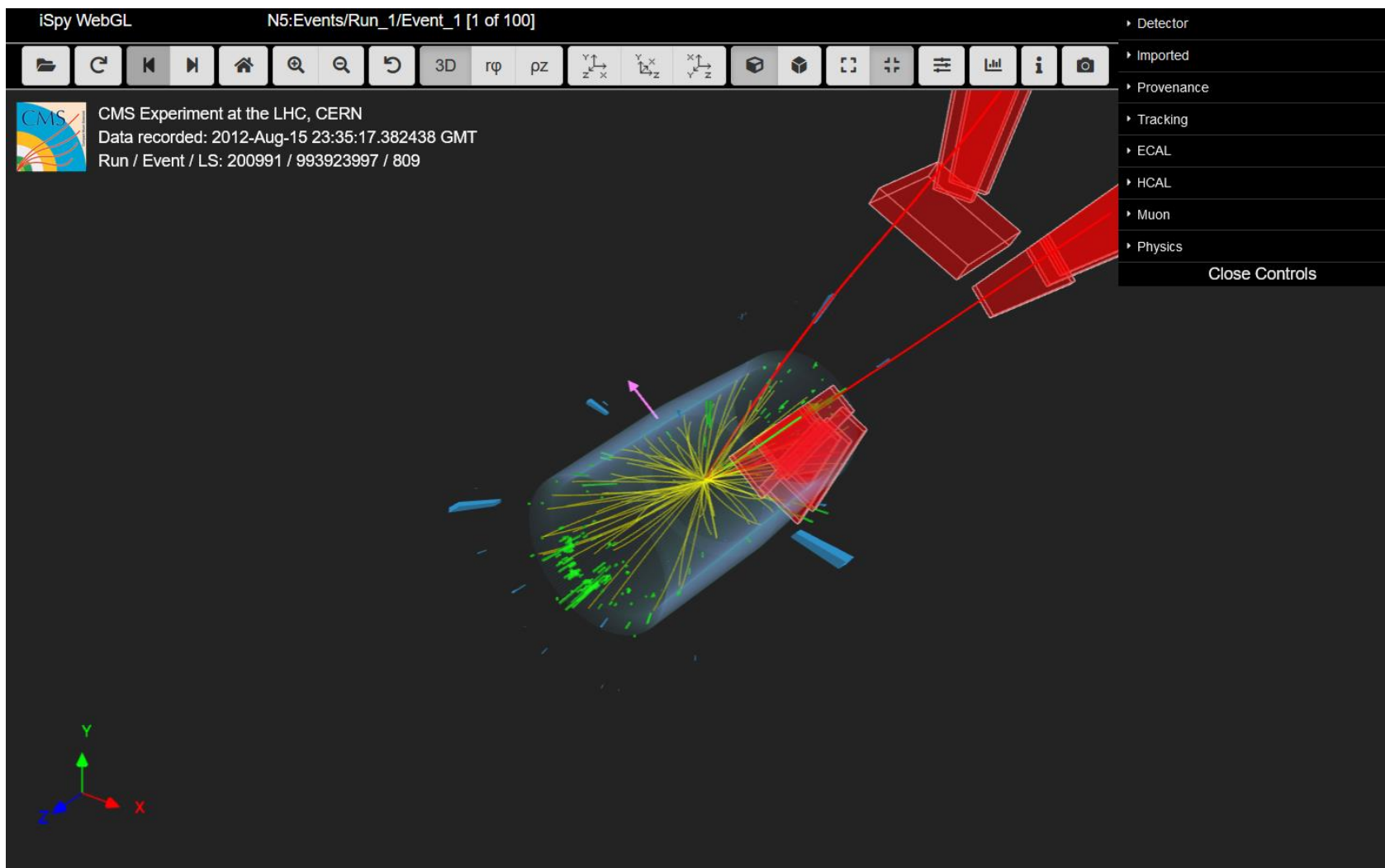
Selected event

WZH paieška

Close Load

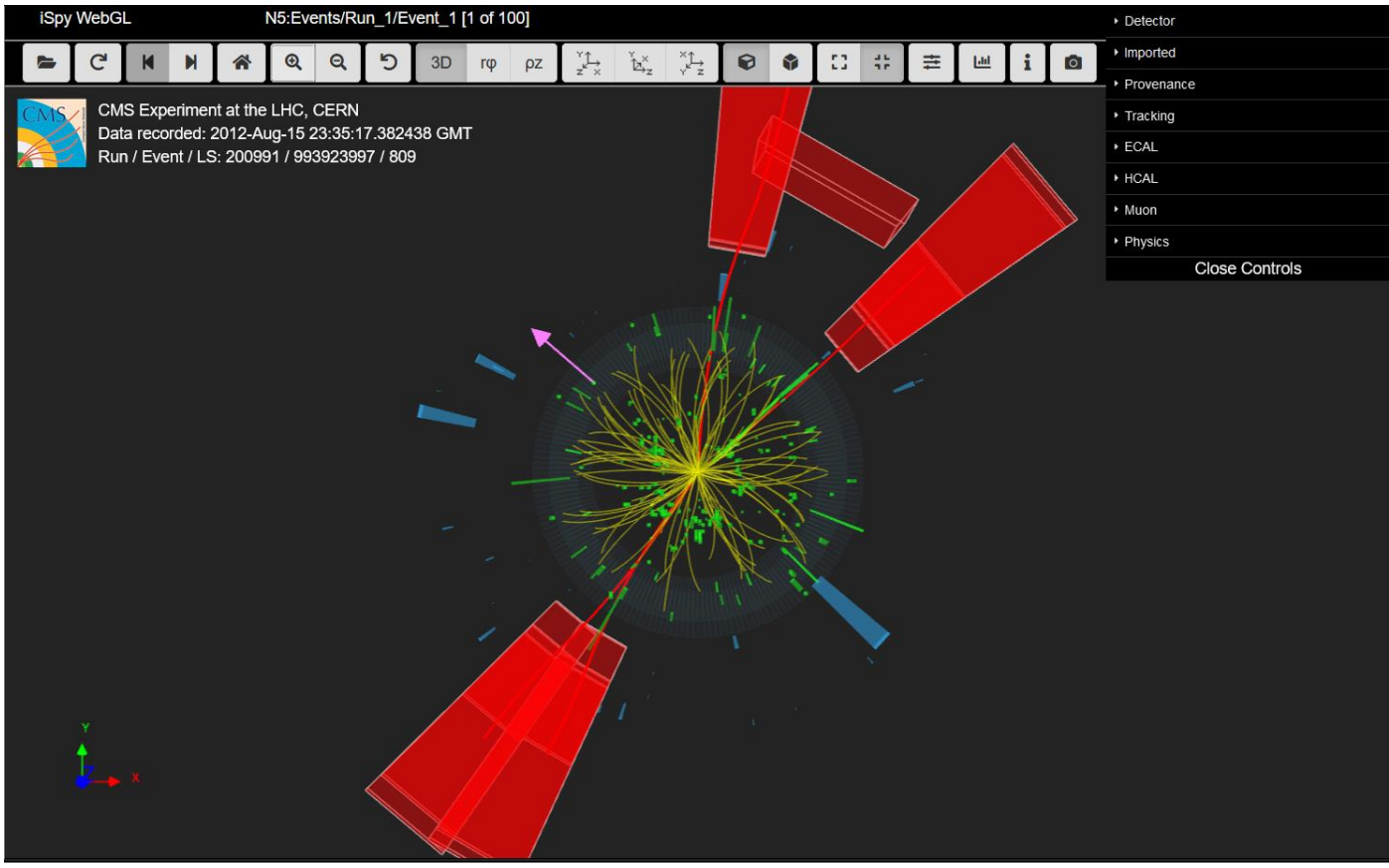
Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

Pamatome savo pirmąjį protonų susidūrimo įvykį. Viskas atrodo labai neaiškiai.



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

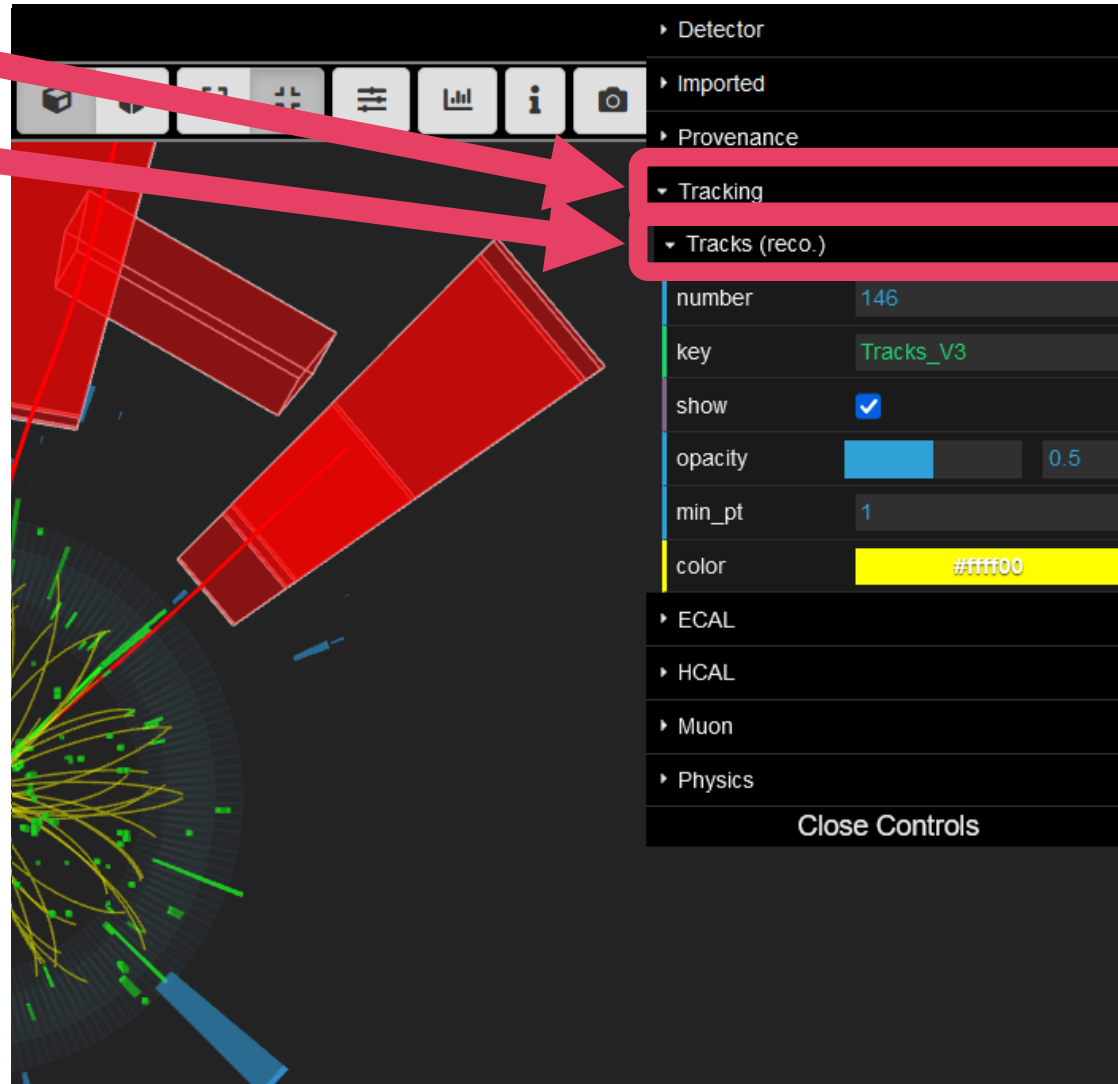
- Įsijunkime x-y vaizdo rodymą
- Šiek tiek prisiartinkime
- Situacija šiek tiek pagerėjo, bet ne pakankamai



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

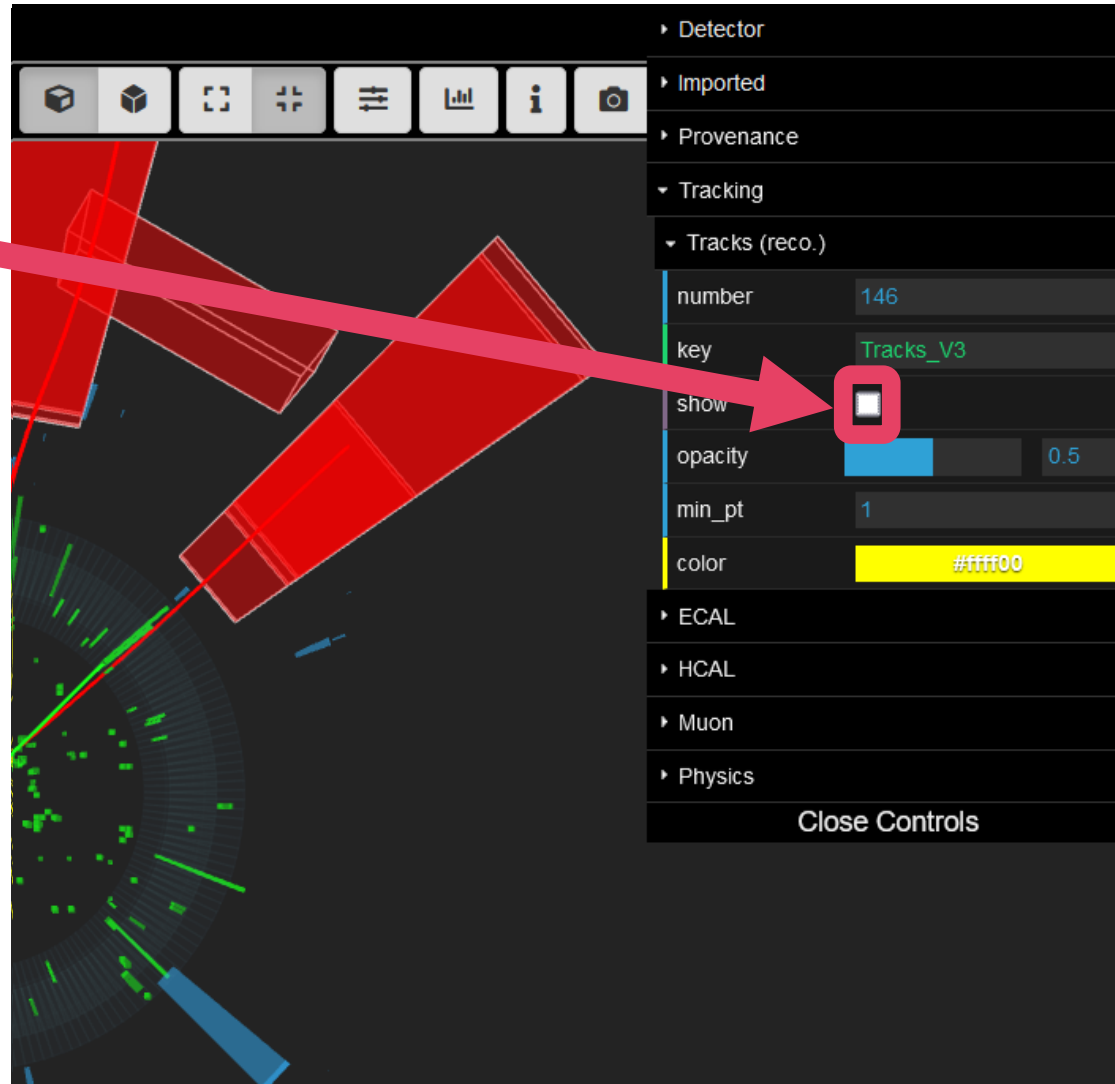
- Kad geriau matytume tai, kas mus domina, išjungiame mažos energijos pėdsakų rodymą:

- Spaudžiame „Tracking“
- Tada „Tracks (reco.)“



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

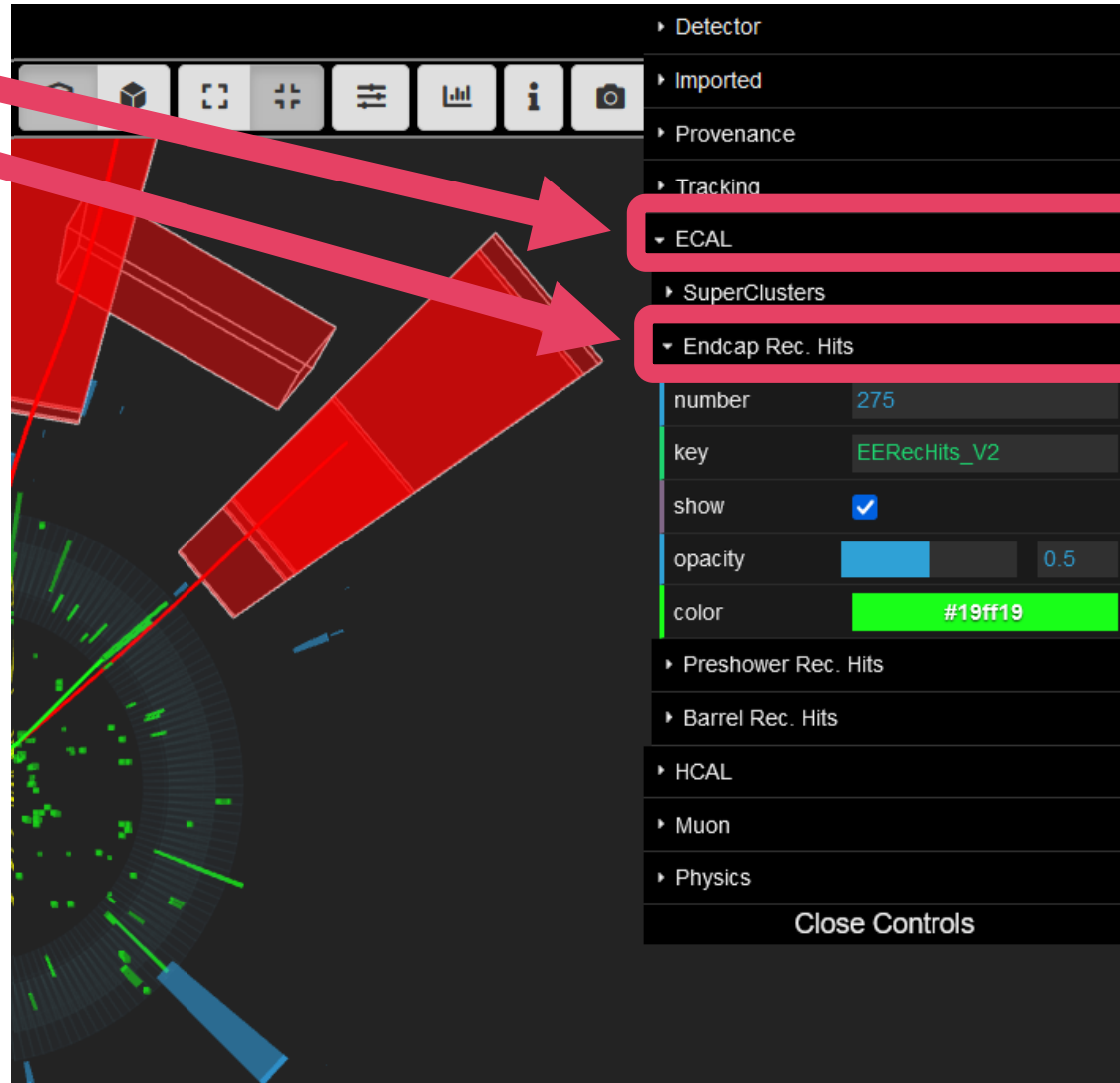
- Kad geriau matytume tai, kas mus domina, išjungiame mažos energijos pėdsakų rodymą:
 - Spaudžiame „Tracking“
 - Tada „Tracks (reco.)“
 - Ir nuimame varnelę



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

■ Taip pat galime išjungti pataikymų į kalorimetrus rodymą:

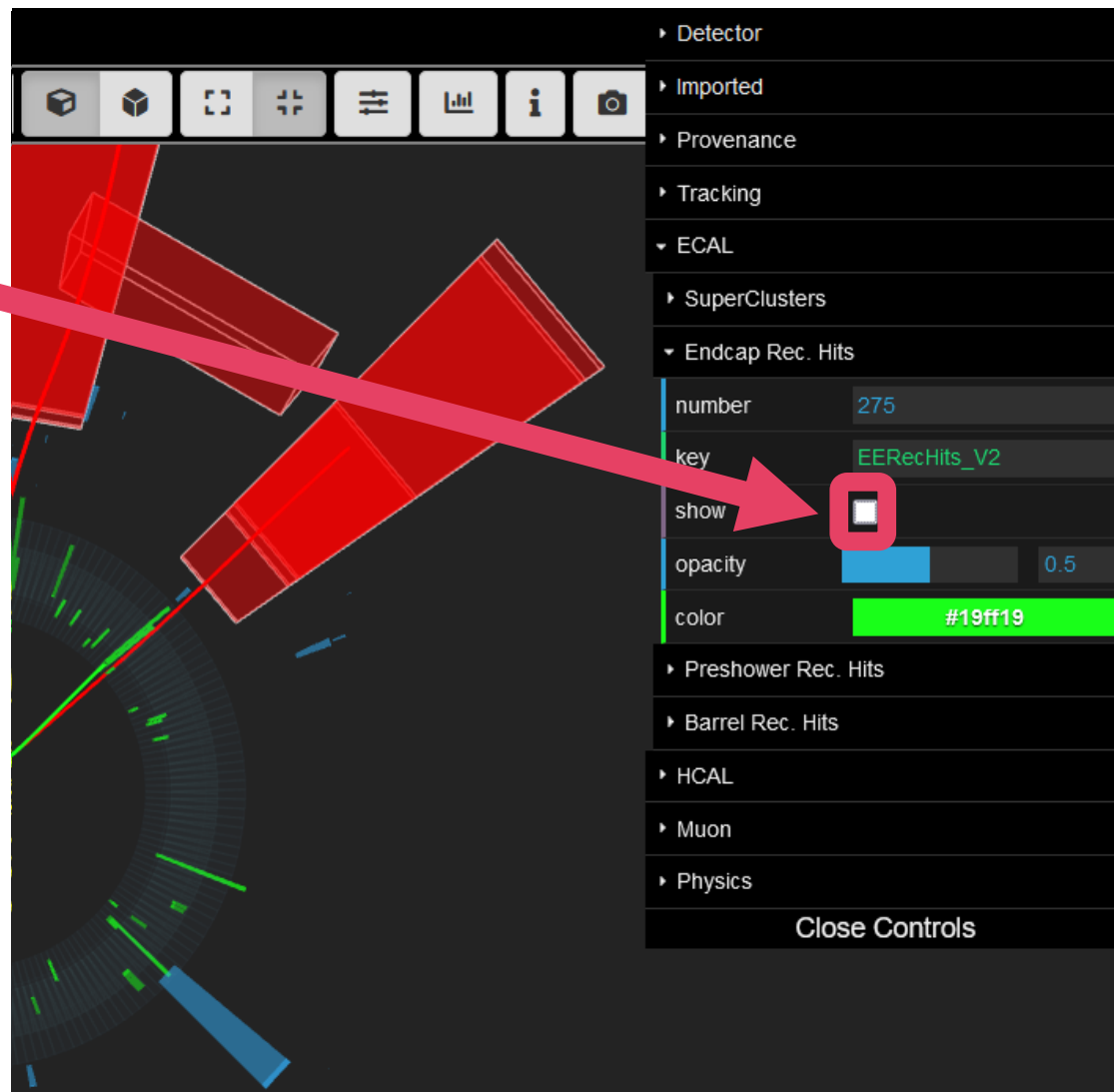
- Spaudžiame „ECAL“
- Tada „Endcap Rec. Hits“



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

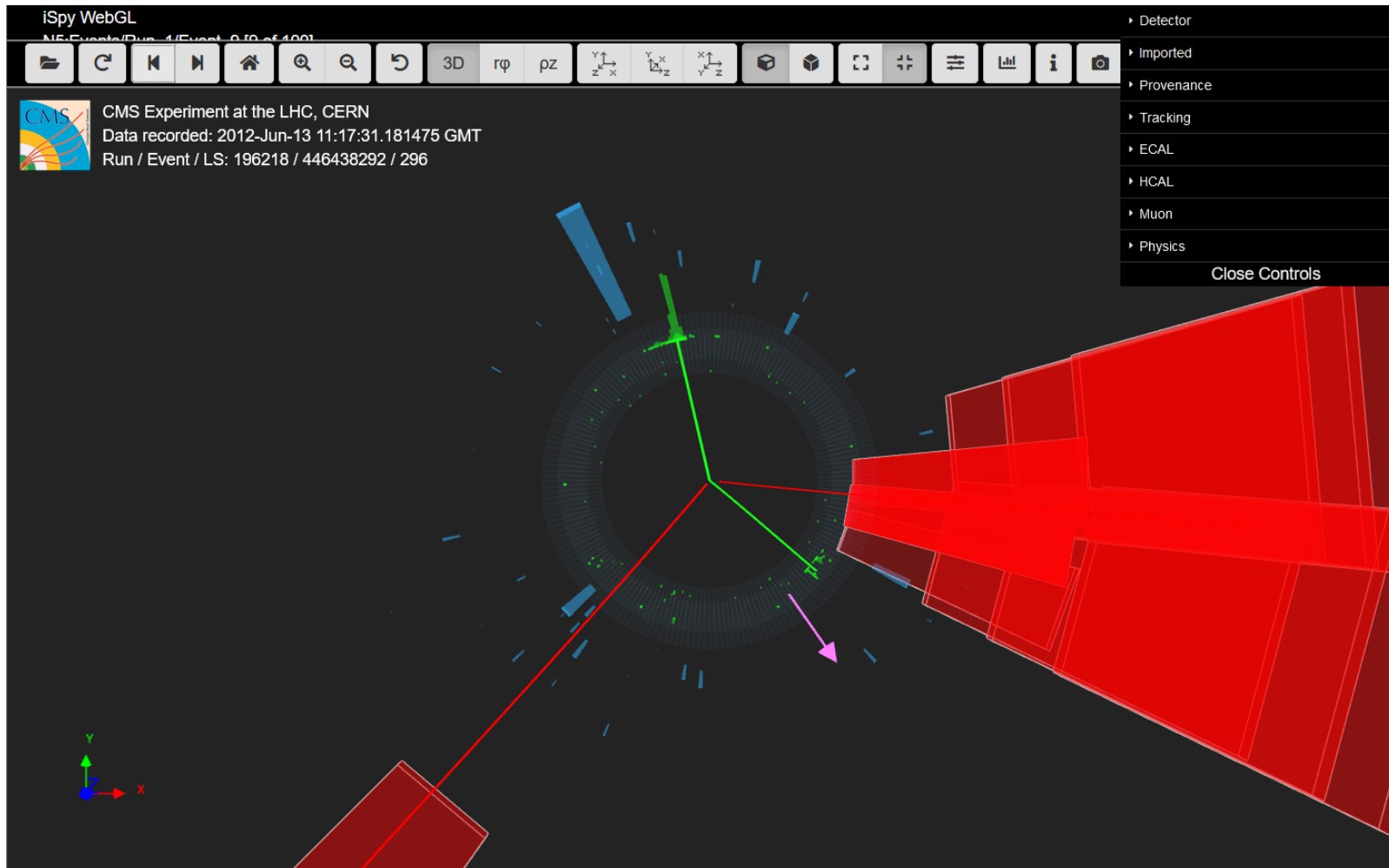
■ Taip pat galime išjungti pataikymų į kalorimetrus rodymą:

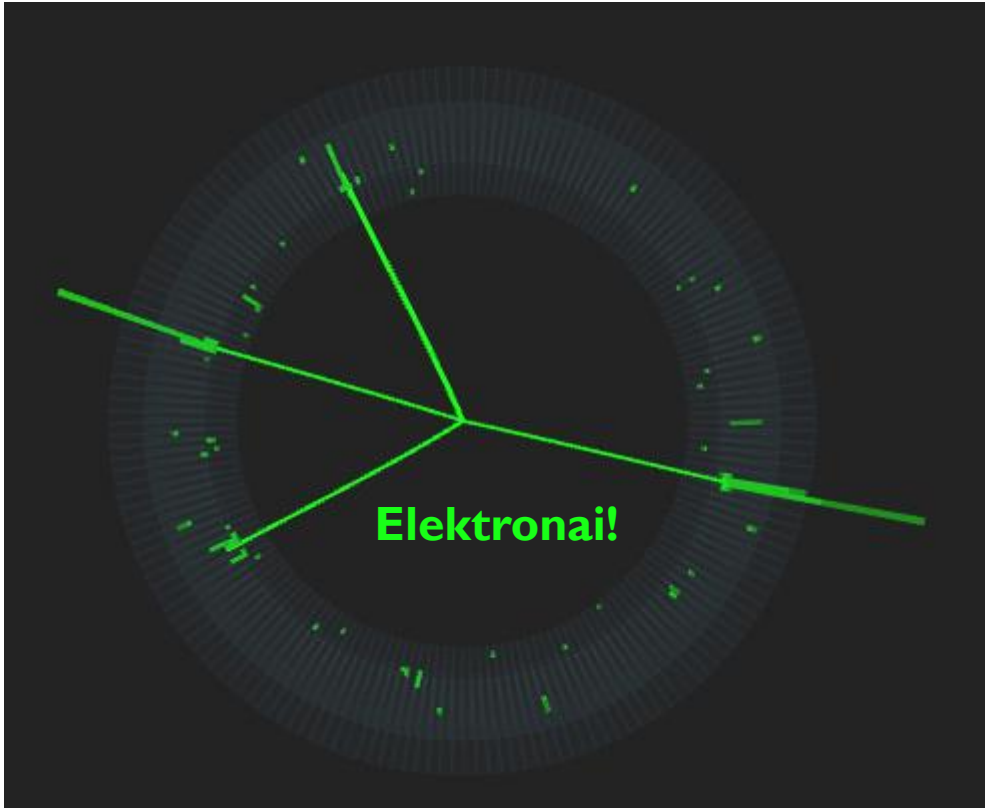
- Spaudžiame „ECAL“
- Tada „Endcap Rec. Hits“
- Ir nuimame varnelę



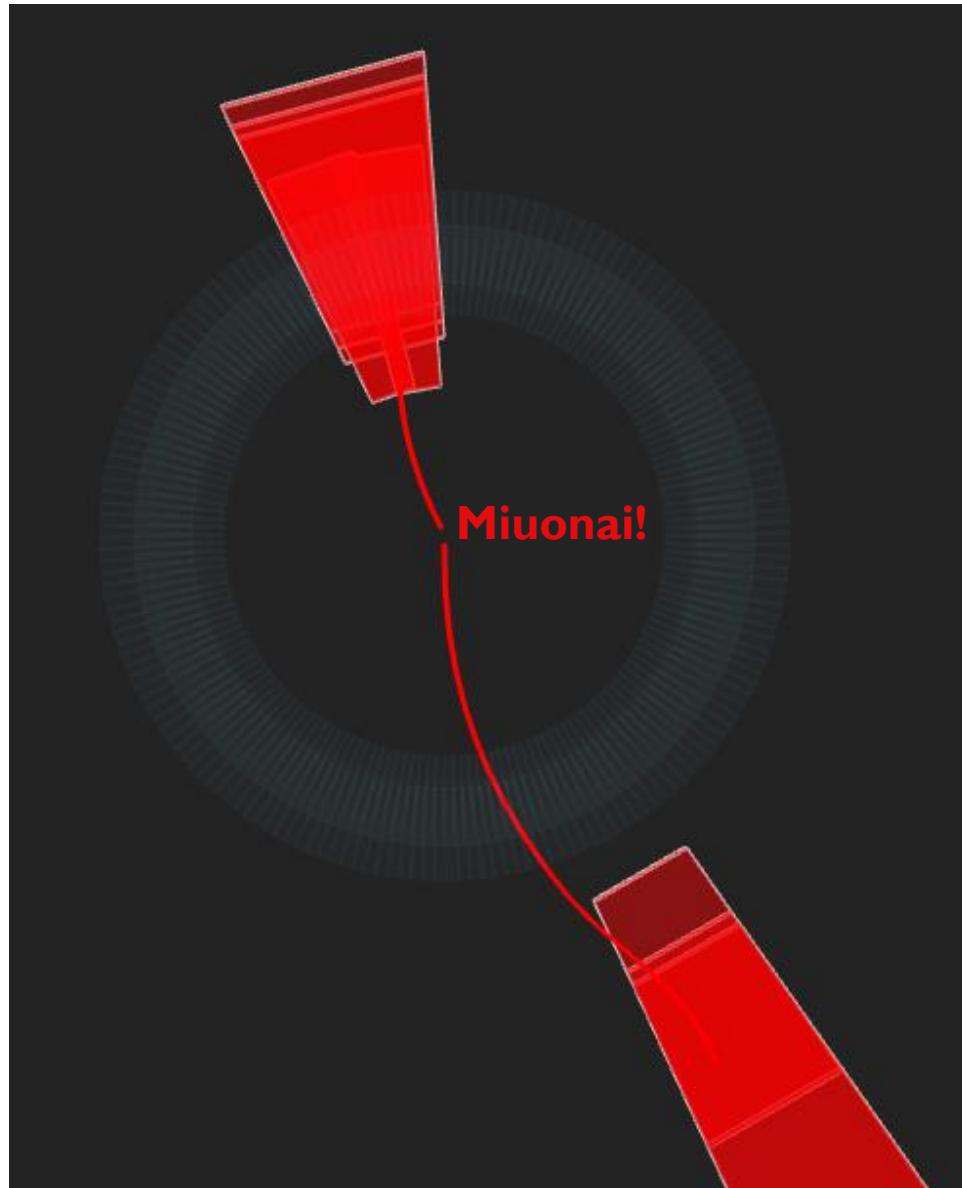
Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

- Dabar jau turėtume matyti kažką tokio
- Galime pradėti aiškintis, kas čia įvyko!

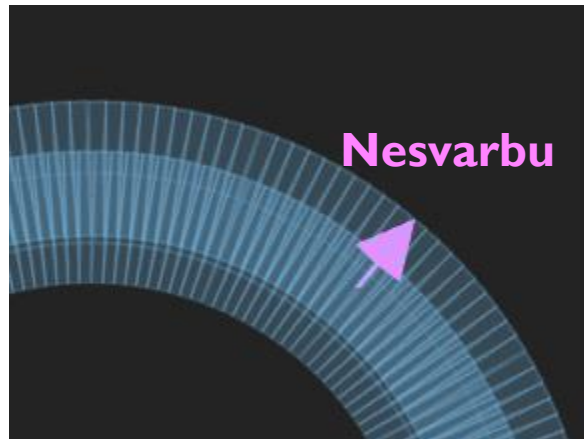
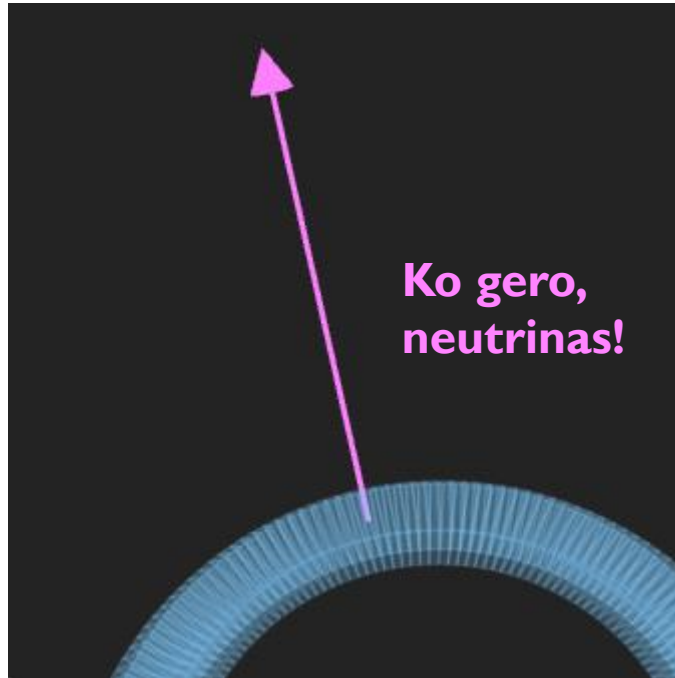




- Programoje **iSpy** elektronų pėdsakai vaizduojami **žaliai**
- Elektronų pėdsakai yra trumpi ir sustoja ties elektromagnetiniu kalorimetru
- Ten, kur elektronas pataikė į elektromagnetinį kalorimetrą, turėtumėte matyti žalius energijos „stulpus“
- CIMA duomenų bazėje elektronas žymimas raide **e**



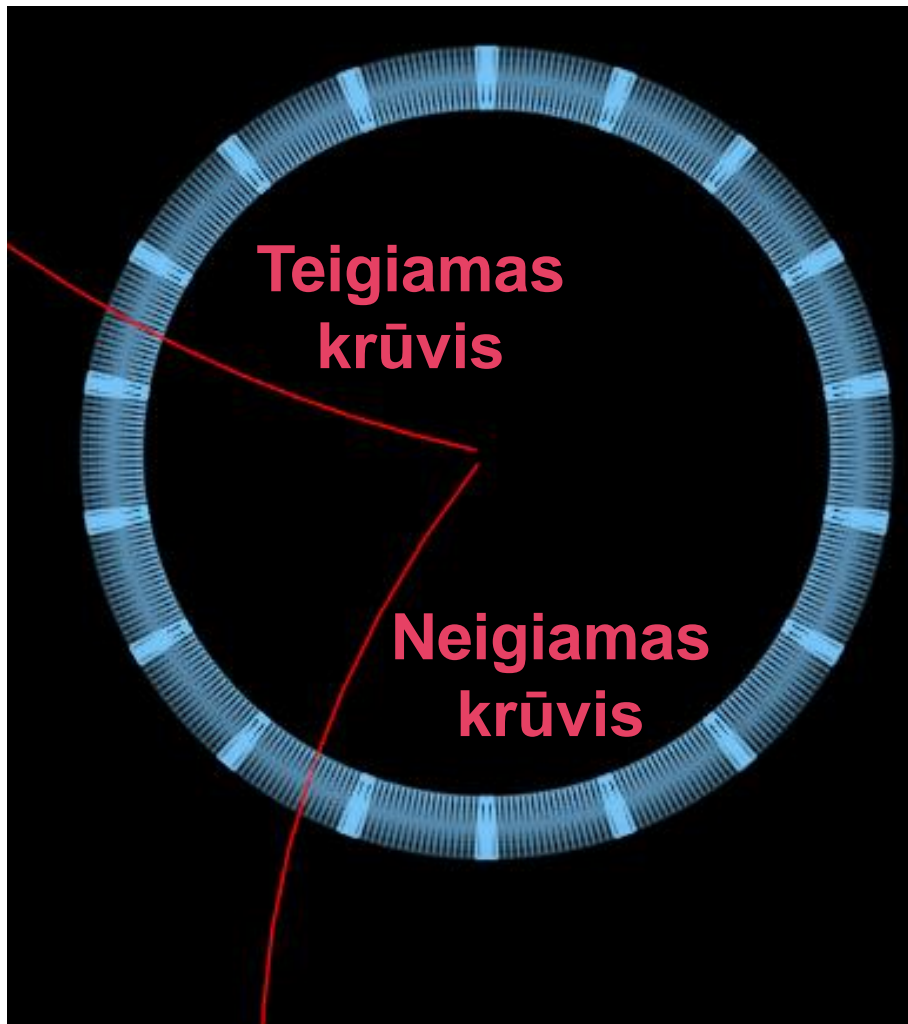
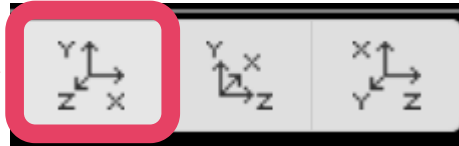
- Miuonų pėdsakai vaizduojami **raudonai**
- Taip pat raudonai pažymimi miuonų detektorių segmentai, į kuriuos buvo pataikyta
- CIMA duomenų bazėje miuonas žymimas graikiška raide μ



- Skersinio impulso trūkumas žymimas **violetine** rodykle
- Kuo rodyklė ilgesnė, tuo trūkumas didesnis
- Pamačius pakankamai ilgą tokią rodyklę galima įtarti, kad ta kryptimi nulėkė neutrinas
- Į trumpą tokią rodyklę galima nekreipti dėmesio
- CIMA duomenų bazėje neutrinas žymimas graikiška raide ν

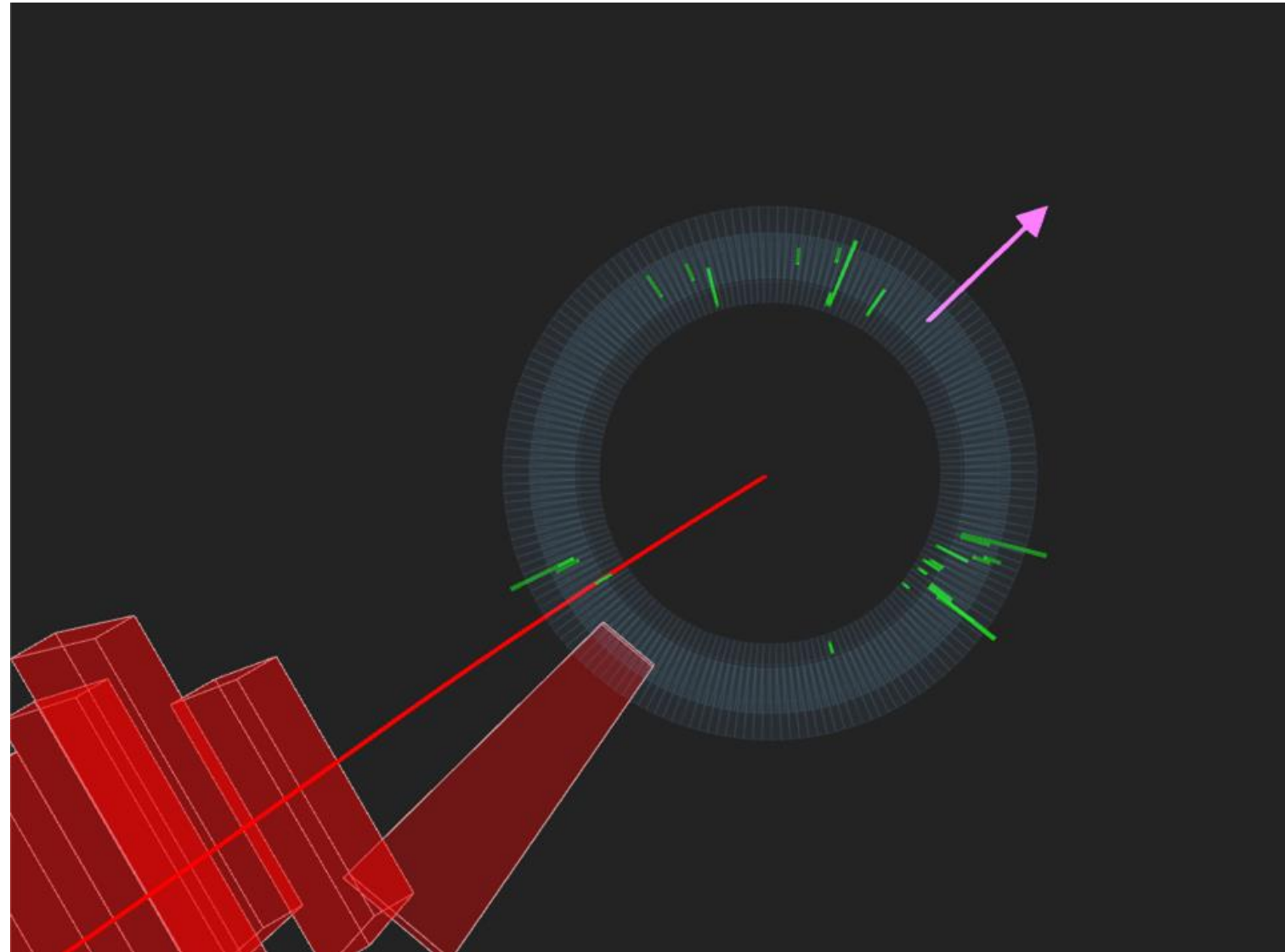
Svarbi informacija peržiūrint susidūrimus

Spaudžiame čia →



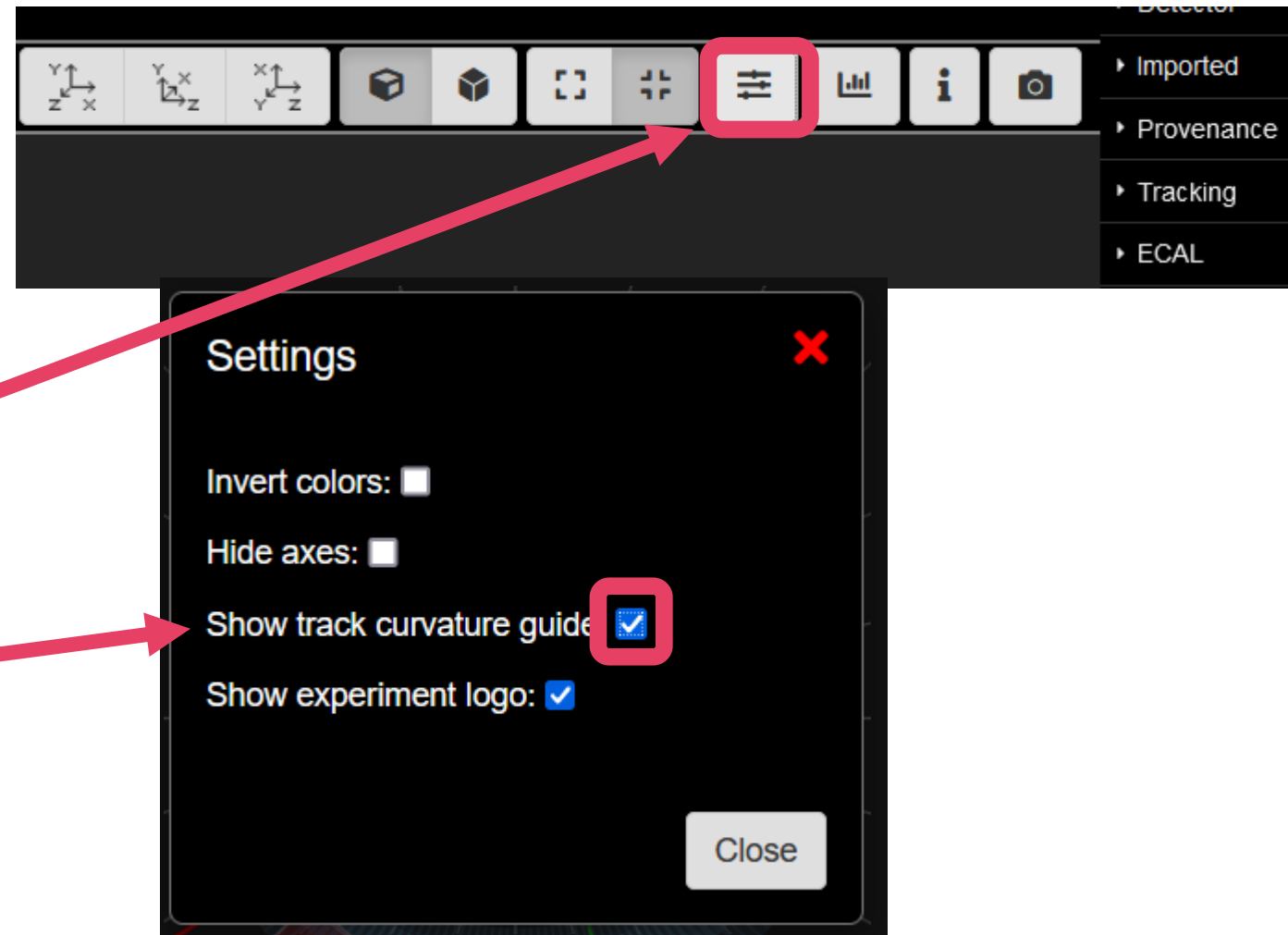
- Pagal elektringos dalelės pėdsako išsilenkimą galima nustatyti jos elektrinį krūvį;
- Žiūrime statmenai z ašiai (x-y vaizdas)
- **Teigiamo** krūvio dalelių pėdsakai magnetiniame lauke užsisuka pagal laikrodžio rodyklę;
- **Neigiamo** krūvio dalelių – prieš laikrodžio rodyklę.

- Gali pasitaikyti atvejų, kai pėdsakas atrodo beveik tiesus
- Tada gali praversti pagalbinės krūvio nustatymo linijos

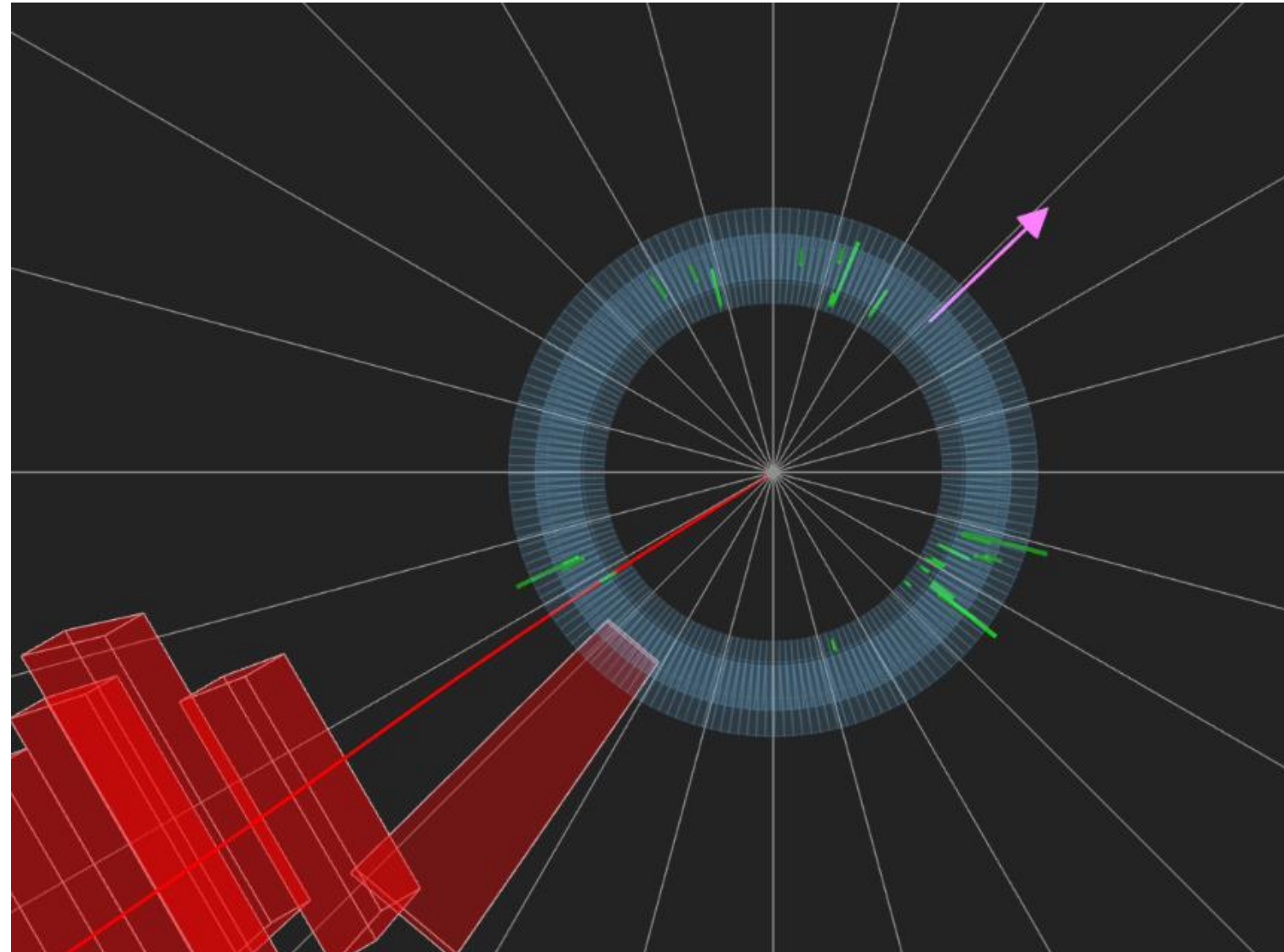


Svarbi informacija peržiūrint susidūrimus

- Gali pasitaikyti atvejų, kai pėdsakas atrodo beveik tiesus
- Tada gali praversti pagalbinės krūvio nustatymo linijos
- Spaudžiame čia
- Ir pažymime „Show track curvature guide“



- Gali pasitaikyti atvejų, kai pėdsakas atrodo beveik tiesus
- Tada gali praversti pagalbinės krūvio nustatymo linijos
- Spaudžiame čia
- Ir pažymime „Show track curvature guide“
- Dabar akivaizdu, kad krūvis – neigiamas!



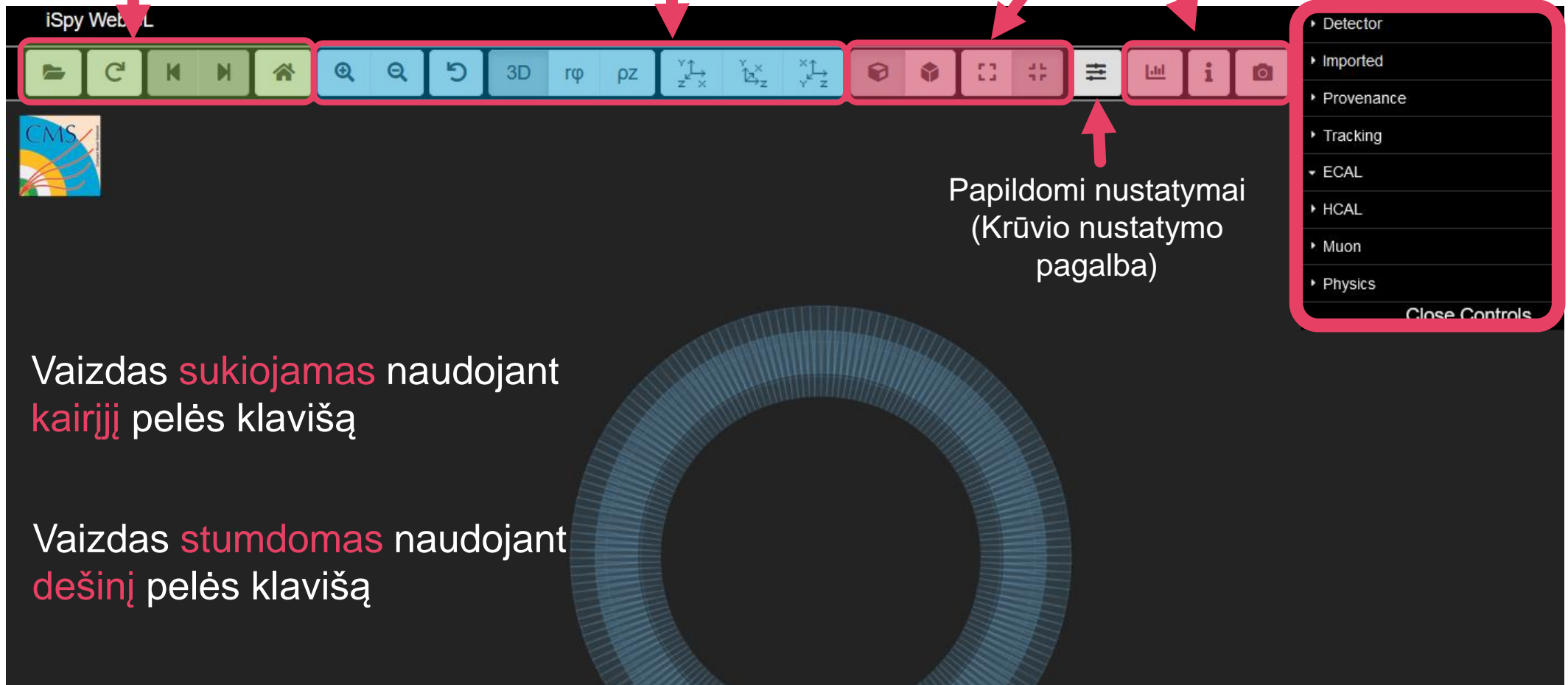
iSpy WebGL apibendrinimas

Įvykių reguliavimas

Vaizdo reguliavimas

Nebūtini

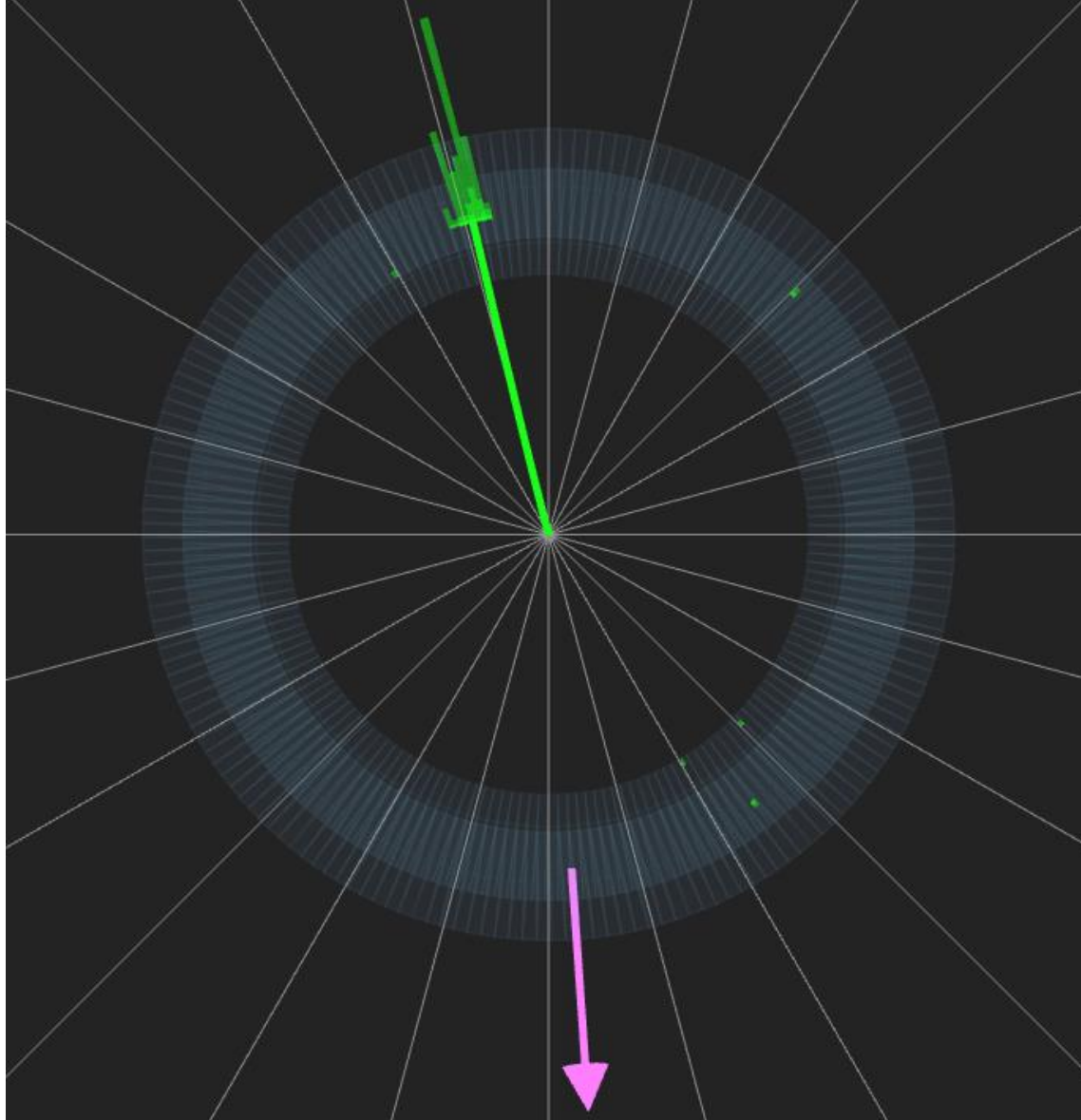
Detektoriaus dalių ir įvykio informacijos rodymas



The screenshot shows the iSpy WebGL interface with a toolbar at the top. The toolbar is divided into several sections: 1. Event control (green buttons: file, refresh, play, stop, home). 2. View control (blue buttons: zoom in, zoom out, reset, 3D, rotation angles $r\phi$, pz , and coordinate axes). 3. Unnecessary (red buttons: cube, cube, zoom in, zoom out, list). 4. Additional settings (red buttons: bar chart, info, camera). A red box highlights the entire toolbar. A red arrow points from the text 'Įvykių reguliavimas' to the green buttons. Another red arrow points from 'Vaizdo reguliavimas' to the blue buttons. A red arrow points from 'Nebūtini' to the red buttons. A red arrow points from 'Papildomi nustatymai (Krūvio nustatymo pagalba)' to the bar chart button. On the right, a 'Close Controls' panel is open, showing a list of detector parts: Detector, Imported, Provenance, Tracking, ECAL, HCAL, Muon, and Physics. A red box highlights this panel. A red arrow points from the text 'Detektoriaus dalių ir įvykio informacijos rodymas' to this panel. The main area shows a CMS logo and a large circular detector visualization.

Vaizdas **sukiojamas** naudojant **kairinį** pelės klavišą

Vaizdas **stumdomas** naudojant **dešinį** pelės klavišą



- Matome elektrono pėdsaką ir trūkstamo skersinio impulso liniją
 - Turbūt tai W bozonas!
- Pabandome nustatyti elektrono (o tuo pačiu ir W bozono) krūvį
 - Teigiamas?

Pavyzdys: W bozono įvykio kandidatas

Skubame į **CIMA** ir atliekame šiuos veiksmus:

Select Event

Event index: ▼

Event number: 10.7-1

1
Pasirenkame įvykio numerį

Final State

e v $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

2
Pasirenkame stebėtas daleles

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle (Z, H)

Zoo

3
Pasirenkame, kokią įtariame pradinę dalelę

Jeigu taip netyčia nepavyko nustatyti krūvio (pėdsakas atrodo tiesus) – spaudžiame čia

4
Spaudžiame „Next“

Enter Mass

GeV/c²

Pavyzdys: W bozono įvykio kandidatas

Veiksmų CIMA apibendrinimas:

1

Pasirenkame įvykio numerį

Select Event

Event index: 1

Event number: 10.7-1

2

Pasirenkame stebėtas daleles

Final State

e v

e e

4e

2e 2μ

μ ν

μ μ

4μ

3

Pasirenkame, kokią įtariame pradinę dalelę

Primary State

Charged Particle:

W+

W-

W±

Neutral Particle (Z, H)

Zoo

4

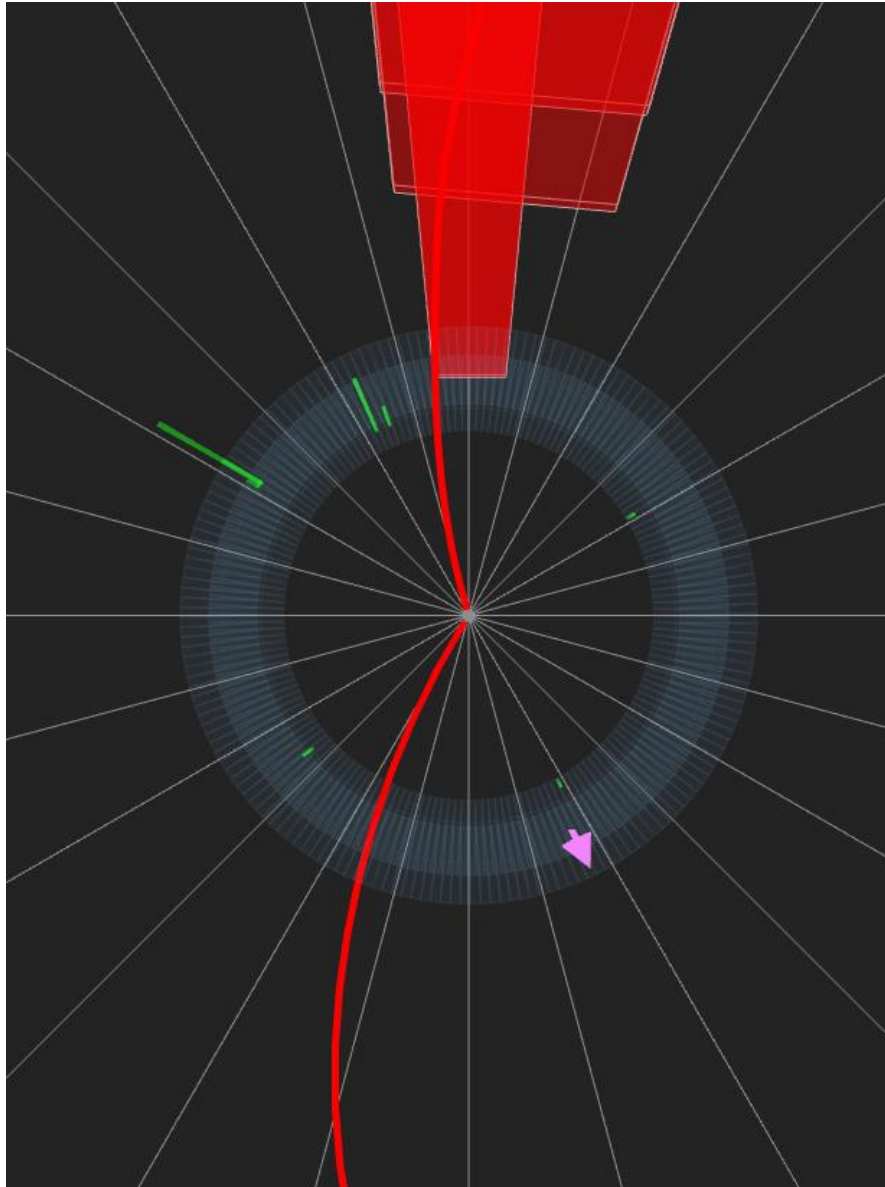
Spaudžiame „Next“

Enter Mass

GeV/c²

Next

Jeigu taip netyčia nepavyko nustatyti krūvio (pėdsakas atrodo tiesus) – spaudžiame čia



- Matome du miuonų pėdsakus
 - Ko gero Z bozonas!
- Ar dalelių krūviai priešingi?
- Ar panašu, kad abi dalelės išlėkė iš to paties taško (ar jos galėjo būti vienos dalelės skilimo produktai)?
- Ar tai tikrai Z bozono skilimas? Patikrinsime pamatuodami dalelių poros *invariantinę masę*!

Kas yra invariantinė masė?

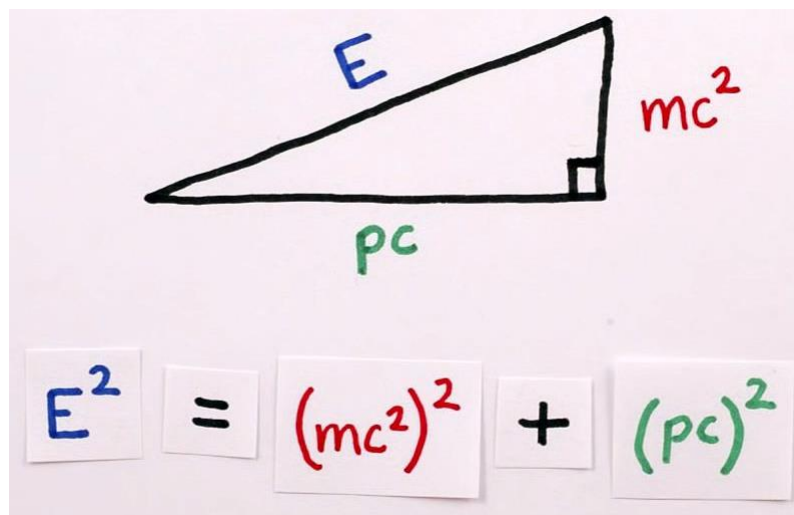
- Invariantinė masė – tai dalelės rimties masė

- Pagal specialiąją reliatyvumo teoriją: $mc^2 = \sqrt{E^2 - |\vec{p}|^2 c^2}$

- Invariantinę masę taip pat galima apskaičiuoti ir kelioms dalelėms, pavyzdžiui, 2 dalelių atveju:

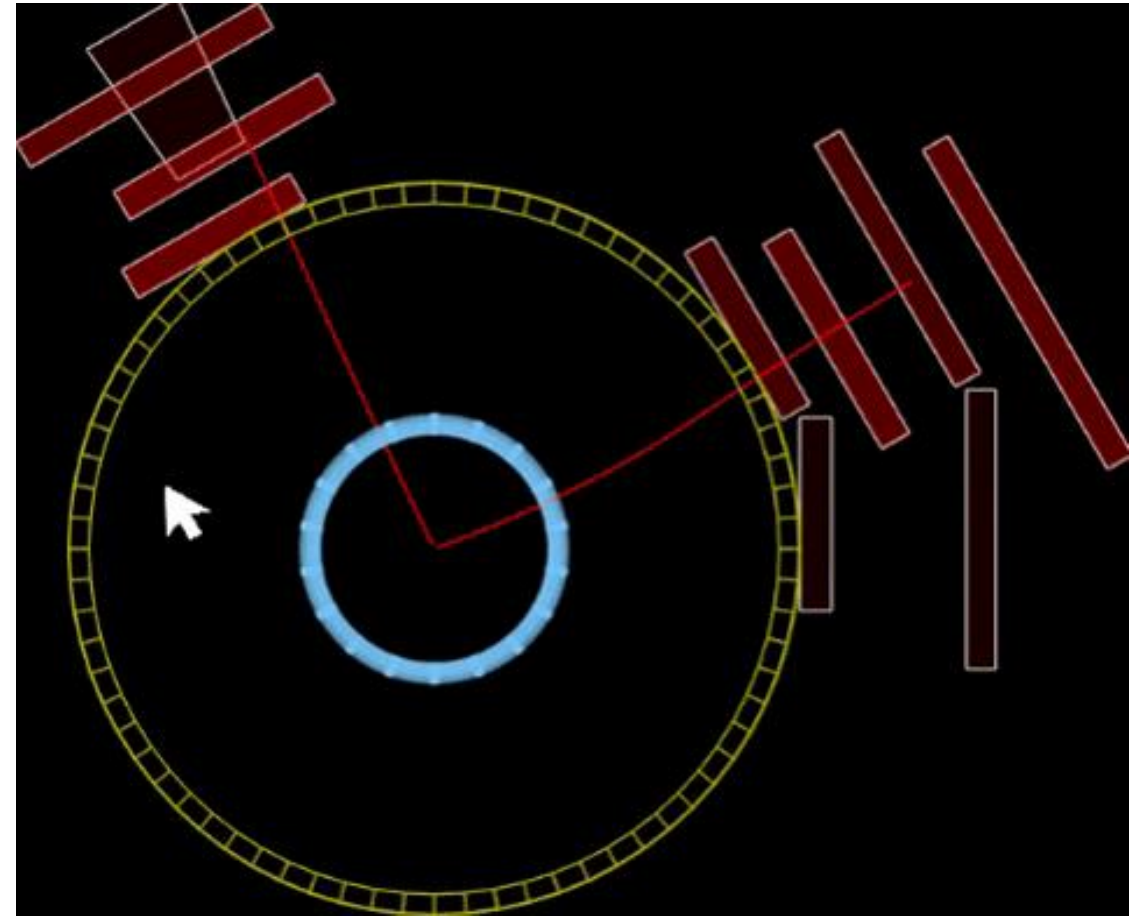
$$m_{12}^2 c^4 = (E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2 c^2$$

- Jeigu dvi dalelės yra vienos pradinės dalelės skilimo produktai, tai jų poros invariantinė masė bus lygi pradinės dalelės rimties masei
- Z bozono masė – apie 91.2 GeV, tad ir jo skilimo produktų invariantinė masė bus tokia pati



Pavyzdys: Z bozono įvykio kandidatas

- Norint apskaičiuoti dalelių poros invariantinę masę su **iSpy** skaičiuotuvo nereikės
- Užvedus pelės žymeklį ant dalelės pėdsako, šis pabąla
- Paspaudus pėdsakas tampa pilkas – tai reiškia, kad mes jį įtraukėme į invariantinės masės skaičiavimą
- Paspaudžiame abu miuonų pėdsakus, kad jie taptų pilki
- Ant klaviatūros paspaudę raidę „**m**“ išvysime invariantinės masės vertę



Pavyzdys: Z bozono įvykio kandidatas



Gavę invariantinę masę skubame į **CIMA** ir atliekame šiuos veiksmus:

Select Event

Event index: ▼

Event number: 10.7-2

1
Pasirenkame
įvykio numerį

Final State

e ν μ ν

e e μ μ

4e 4μ

2e 2μ

2
Pasirenkame
stebėtas daleles

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W±

Neutral Particle
(Z, H)

Zoo

3
Pasirenkame
„Neutral Particle
(Z, H)“

4
Įvedame
invariantinę
masę

Enter Mass

GeV/c²

5
Spaudžiame
„Next“

Pavyzdys: Z bozono įvykio kandidatas

Veiksmų **CIMA** apibendrinimas:

1

Pasirenkame įvykio numerį

2

Pasirenkame stebėtas daleles

3

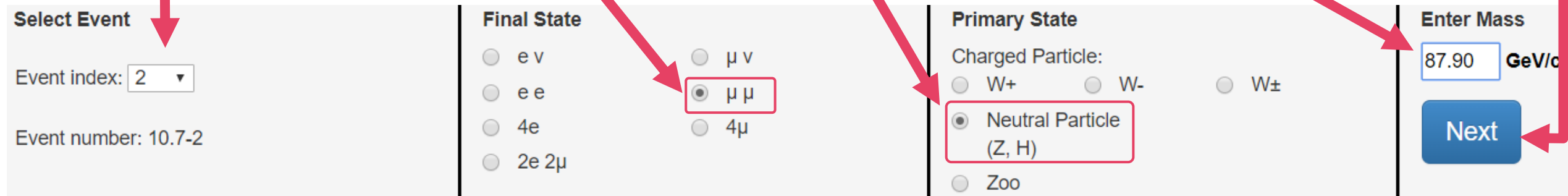
Pasirenkame „Neutral Particle (Z, H)“

4

Įvedame invariantinę masę

5

Spaudžiame „Next“

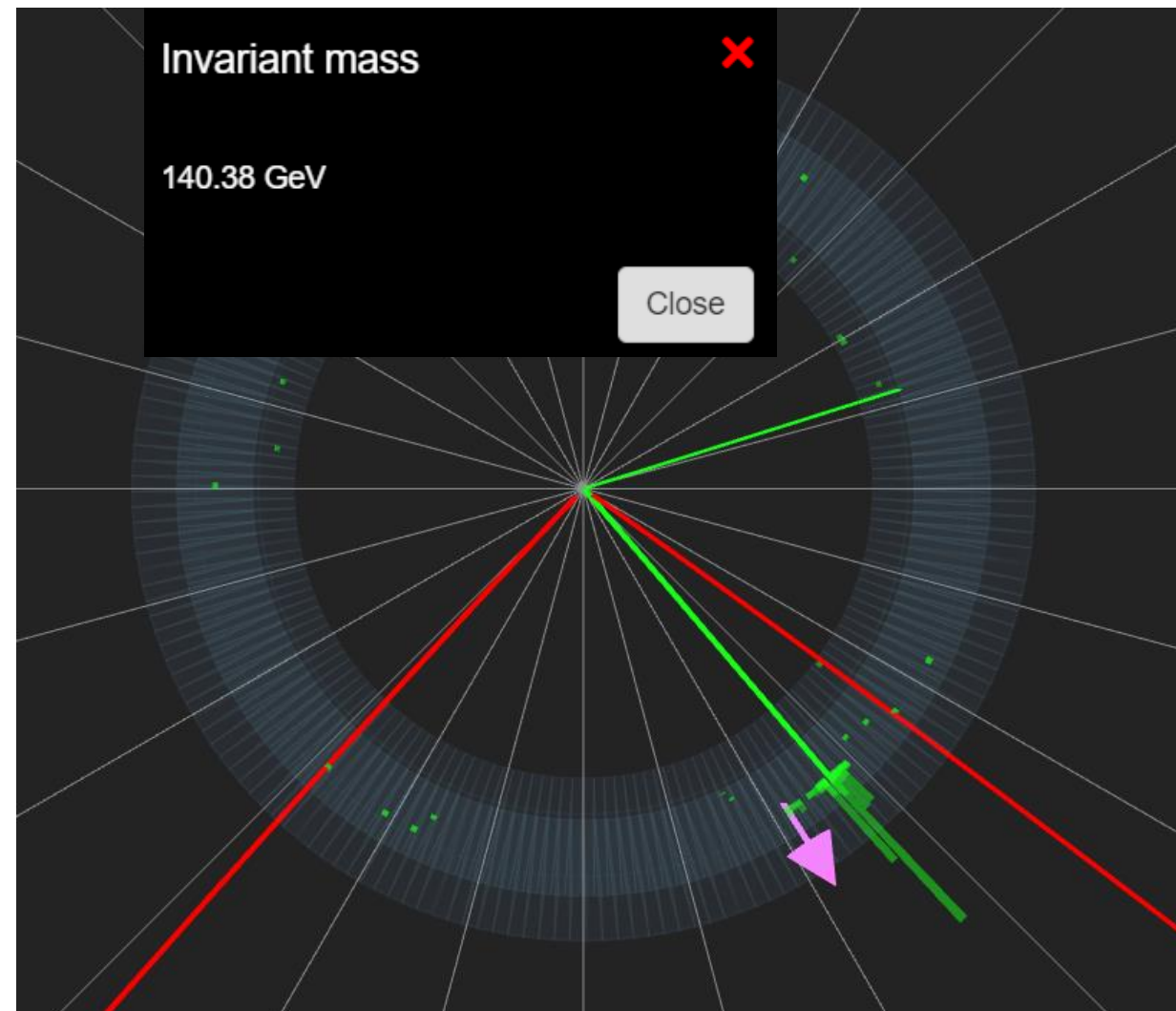


The screenshot shows the CIMA interface with the following elements:

- Select Event:** Event index: 2 (dropdown), Event number: 10.7-2
- Final State:** Radio buttons for e ν, e e, 4e, 2e 2μ, μ ν, μ μ (selected), 4μ
- Primary State:** Radio buttons for Charged Particle: W+, W-, W±, Neutral Particle (Z, H) (selected), Zoo
- Enter Mass:** Input field: 87.90 GeV/c, Next button

Pavyzdys: Higso bozono įvykio kandidatas

- Matome keturių leptonų pėdsakus
 - Ar tai yra dvi dalelės-antidalelės poros?
- Jei taip – galbūt čia skilo du Z bozonai!
- Du Z bozonai gali atsirasti Higso bozono skilimo metu
 - Galbūt aptikome Higso bozoną!
- Ar panašu, kad visos keturios dalelės išlėkė iš to paties taško?
- Pabandykime pamatuoti keturių leptonų invariantinę masę!
 - Higso bozono masė – apie 125 GeV



Pavyzdys: Higso bozono įvykio kandidatas

Gavę invariantinę masę skubame į **CIMA** ir atliekame šiuos veiksmus:

Select Event

Event index: ▼

Event number: 10.7-3

1
Pasirenkame
įvykio numerį

Final State

e v μ v

e e μ μ

4e 4 μ

2e 2 μ

2
Pasirenkame
stebėtas daleles

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle
(Z, H)

Zoo

3
Pasirenkame
„Neutral Particle
(Z, H)“

4
Įvedame
invariantinę
masę

Enter Mass

GeV/c²

5
Spaudžiame
„Next“

Pavyzdys: Higso bozono įvykio kandidatas

Veiksmų **CIMA** apibendrinimas:

1

Pasirenkame įvykio numerį

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-3

2

Pasirenkame stebėtas daleles

Final State

e ν

e e

4e

2e 2 μ

$\mu \nu$

$\mu \mu$

4 μ

3

Pasirenkame „Neutral Particle (Z, H)“

Primary State

Charged Particle:

W⁺ W⁻ W \pm

Neutral Particle (Z, H)

Zoo

4

Įvedame invariantinę masę

Enter Mass

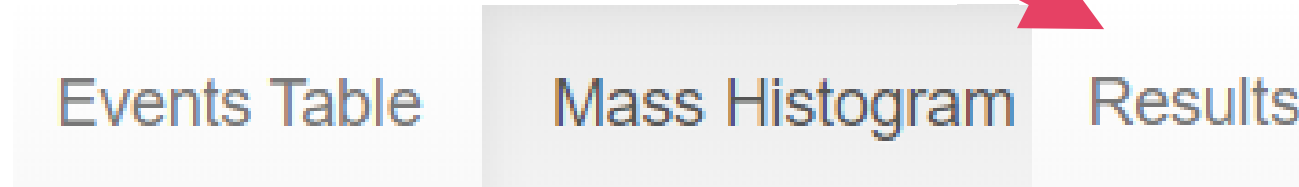
GeV/c²

5

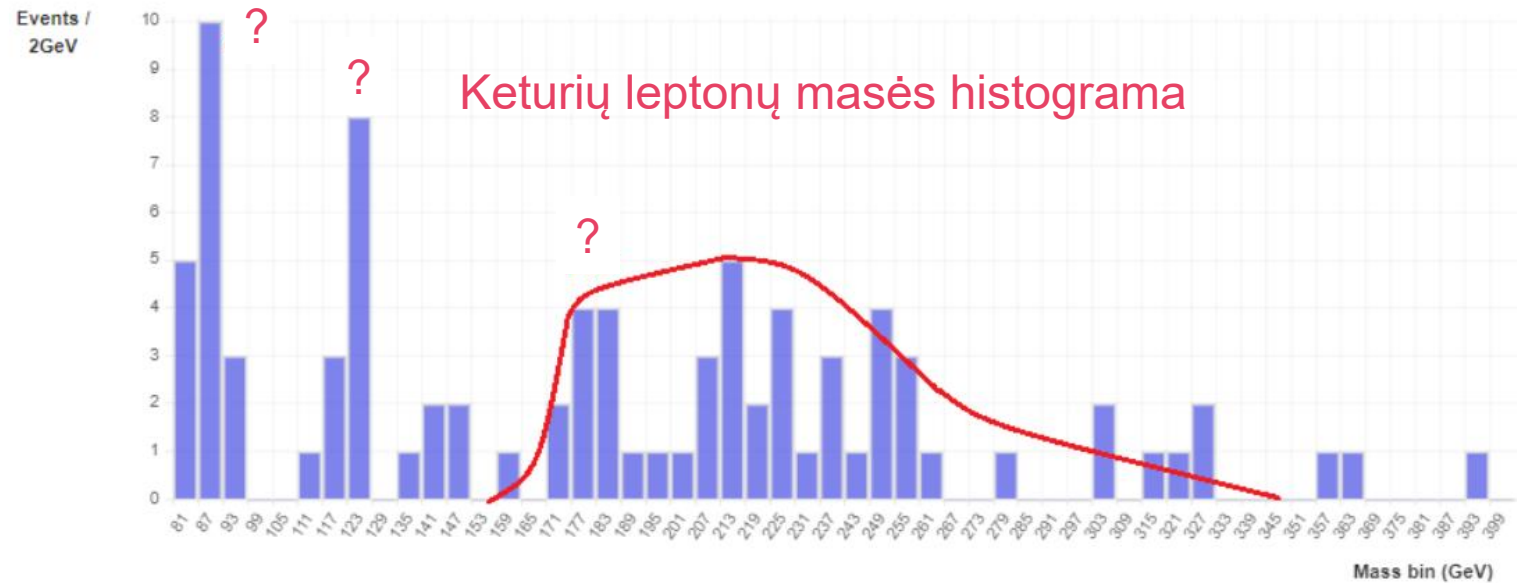
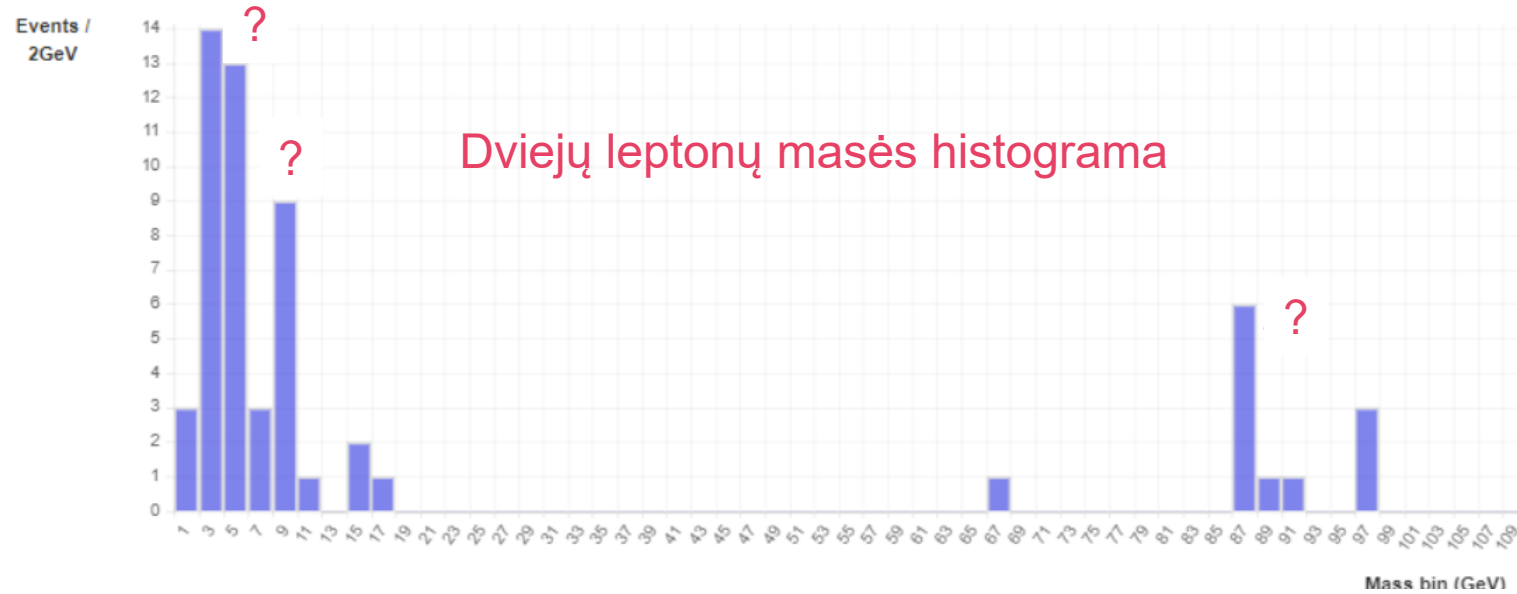
Spaudžiame „Next“

Palyginsime visų grupių gautus rezultatus:

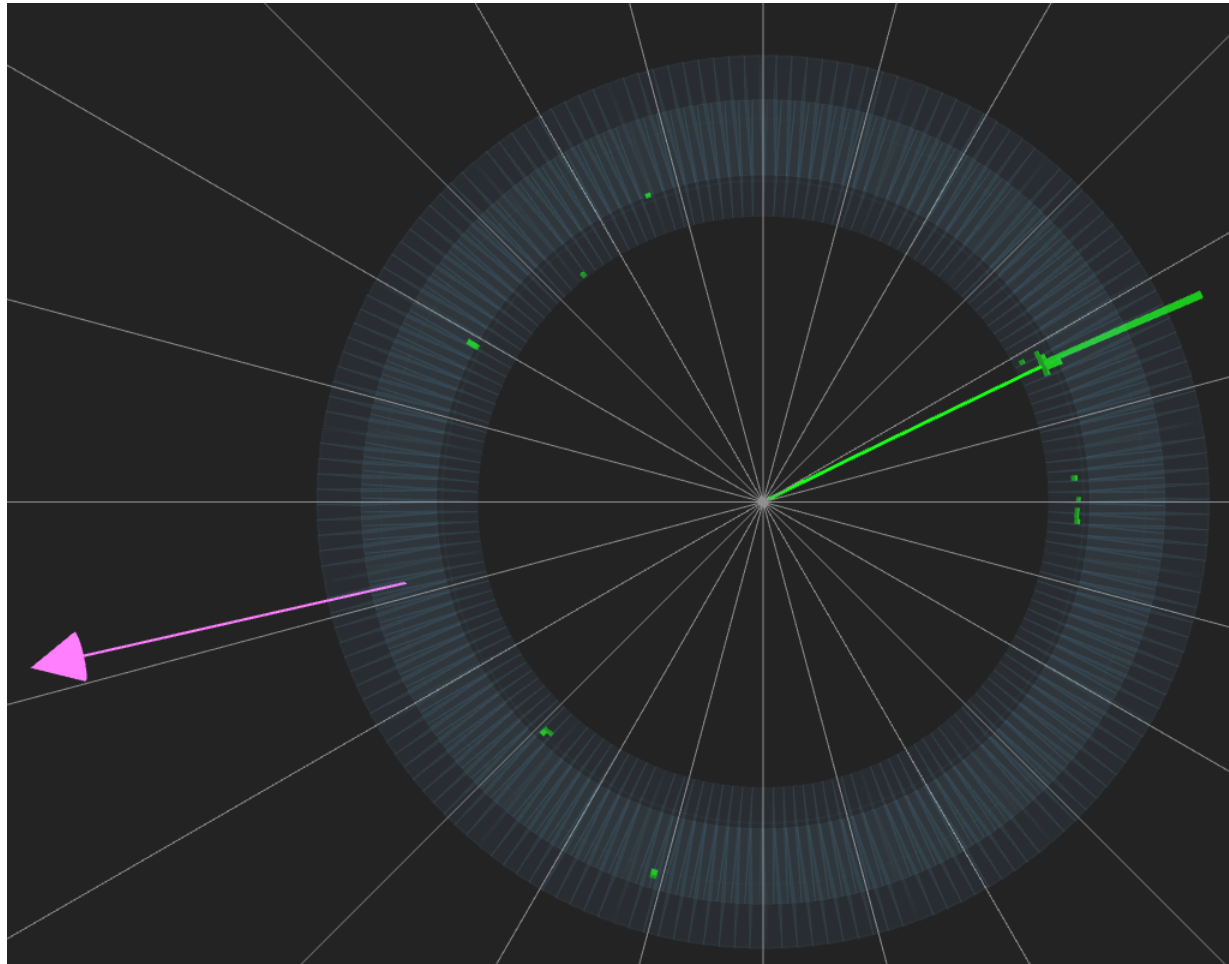
- Peržiūrėsime gautus **invariantinės masės pasiskirstymus**
- Palyginsime aptiktų elektronų ir miuonų skaičius
- Palyginsime W^+ ir W^- skaičius
 - Juos bus galima pamatyti paspaudus **čia**:



Kokių rezultatų galime tikėtis?



Kartu pabandykime atpažinti keletą pavyzdinių protonų susidūrimo įvykių.



- Ekeketronas ir trūkstama energija (neutrinas)
- Panašu, kad tai galėtų būti W^+ bozono įvykis

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-1

Įvykis 1

Final State

e ν $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

Elektronas (e) ir neutrinas (ν)

Primary State

Charged Particle:

W⁺ W⁻ W[±]

Neutral Particle
(Z, H)

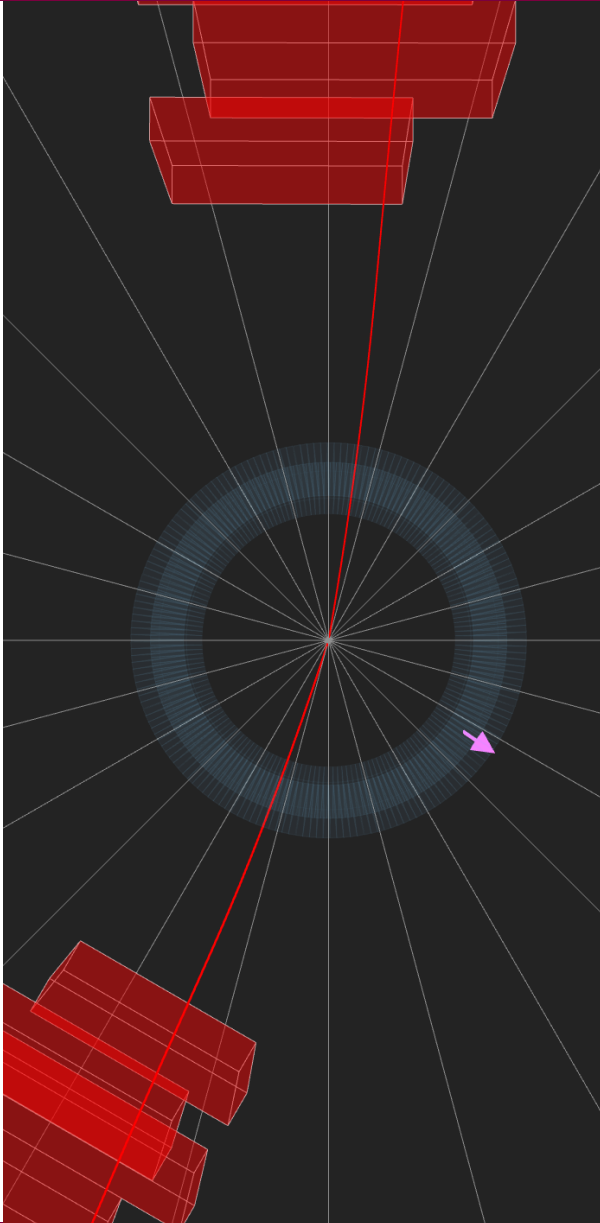
Zoo

W⁺ bozonas

Enter Mass

GeV/c²

Masės vesti nereikia,
spaudžiame „next“



- Miuono-antimiuono pora;
- Panašu, kad tai galėtų būti Z bozono (arba kitos neutralios dalelės) įvykis;
- Reikėtų išmatuoti miuonų poros invariantinę masę.

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-2

Įvykis 2

Final State

e ν μ ν

e e μ μ

4e 4μ

2e 2μ

Miuonas-antimiuonas ($\mu\mu$)

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W±

Neutral Particle
(Z, H)

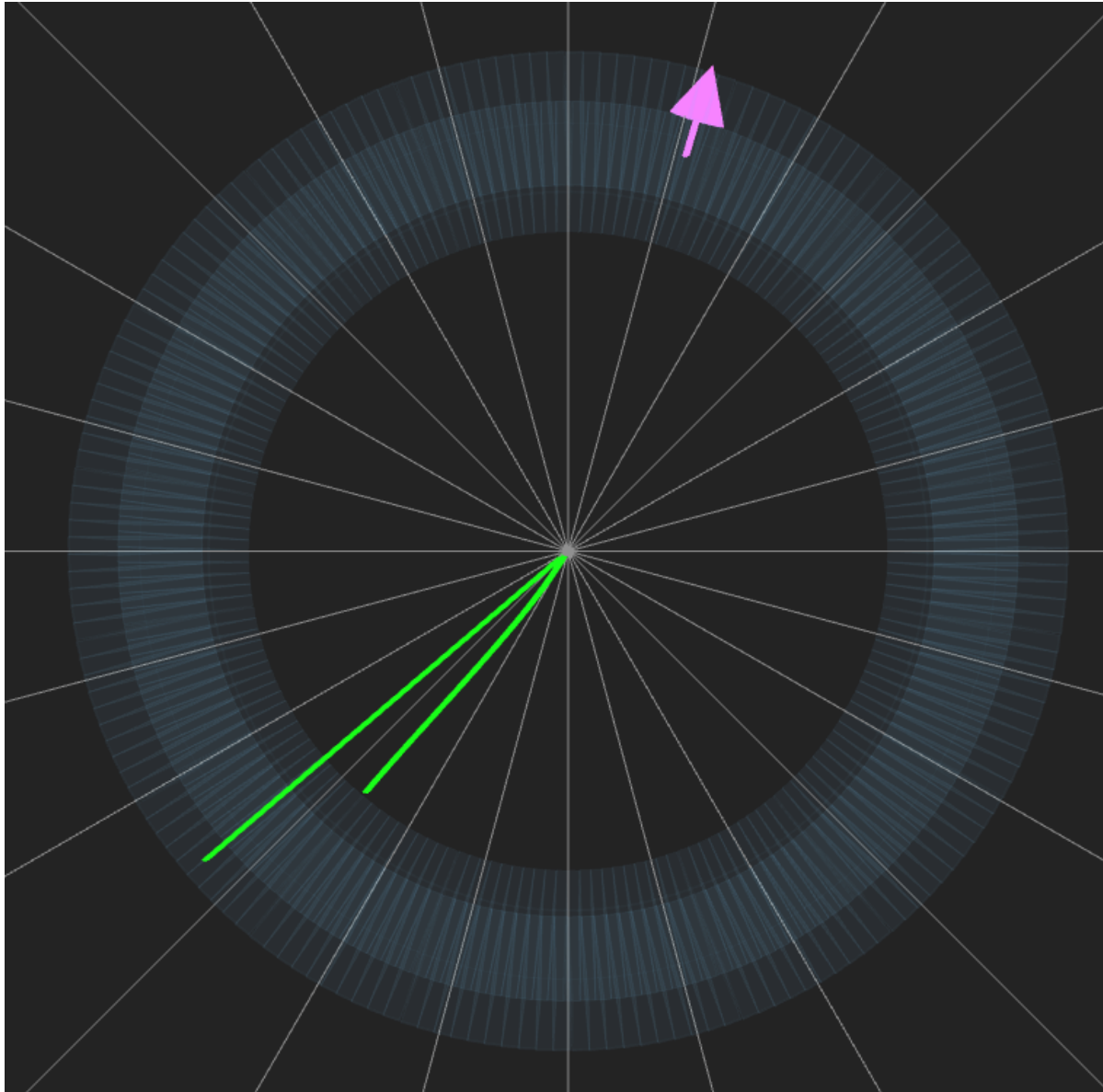
Zoo

Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

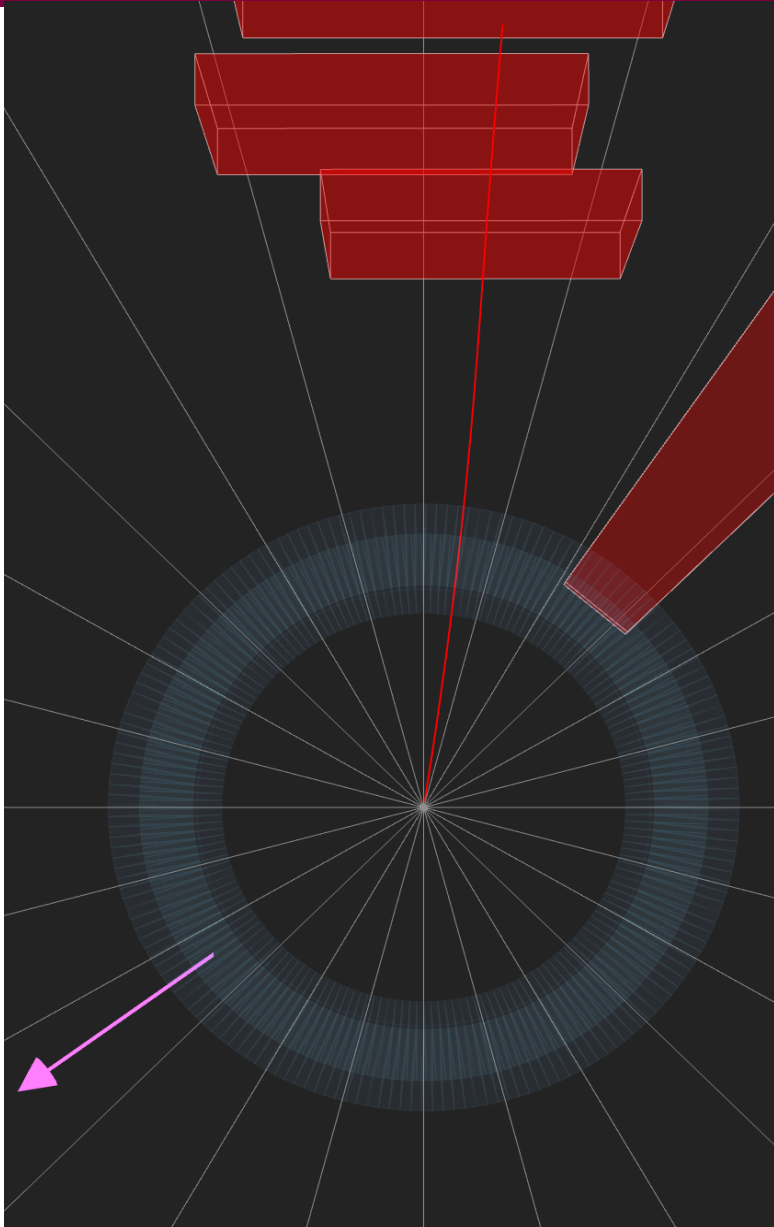
Įvedame apskaičiuotą masę ir spaudžiame „next“



- Elektrono-pozitrono pora
- Panašu, kad tai galėtų būti Z bozono (arba kitos neutralios dalelės) įvykis
- Reikėtų išmatuoti elektronų poros invariantinę masę

Įvedame informaciją į CIMA

<p>Select Event</p> <p>Event index: <input type="text" value="3"/></p> <p>Event number: 10.7-3</p> <p style="text-align: center; color: red;">Įvykis 3</p>	<p>Final State</p> <table><tr><td><input type="radio"/> e v</td><td><input type="radio"/> μ v</td></tr><tr><td><input checked="" type="radio"/> e e</td><td><input type="radio"/> μ μ</td></tr><tr><td><input type="radio"/> 4e</td><td><input type="radio"/> 4μ</td></tr><tr><td><input type="radio"/> 2e 2μ</td><td></td></tr></table> <p style="text-align: center; color: red;">Elektronas-pozitronas (ee)</p>	<input type="radio"/> e v	<input type="radio"/> μ v	<input checked="" type="radio"/> e e	<input type="radio"/> μ μ	<input type="radio"/> 4e	<input type="radio"/> 4 μ	<input type="radio"/> 2e 2 μ		
<input type="radio"/> e v	<input type="radio"/> μ v									
<input checked="" type="radio"/> e e	<input type="radio"/> μ μ									
<input type="radio"/> 4e	<input type="radio"/> 4 μ									
<input type="radio"/> 2e 2 μ										
<p>Primary State</p> <p>Charged Particle:</p> <table><tr><td><input type="radio"/> W+</td><td><input type="radio"/> W-</td><td><input type="radio"/> W\pm</td></tr><tr><td><input checked="" type="radio"/> Neutral Particle (Z, H)</td><td></td><td></td></tr><tr><td><input type="radio"/> Zoo</td><td></td><td></td></tr></table> <p style="text-align: center; color: red;">Neutrali dalelė</p>	<input type="radio"/> W+	<input type="radio"/> W-	<input type="radio"/> W \pm	<input checked="" type="radio"/> Neutral Particle (Z, H)			<input type="radio"/> Zoo			<p>Enter Mass</p> <p><input type="text" value="95.01"/> GeV/c²</p> <p><input type="button" value="Next"/></p> <p style="text-align: center; color: red;">Įvedame apskaičiuotą masę ir spaudžiame „next“</p>
<input type="radio"/> W+	<input type="radio"/> W-	<input type="radio"/> W \pm								
<input checked="" type="radio"/> Neutral Particle (Z, H)										
<input type="radio"/> Zoo										



- Miuonas ir trūkstama energija (neutrinas)
- Panašu, kad tai galėtų būti W^- bozono įvykis

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-4

Įvykis 4

Final State

e ν $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

Miuonas (μ) ir neutrinas (ν)

Primary State

Charged Particle:

W⁺ W⁻ W[±]

Neutral Particle
(Z, H)

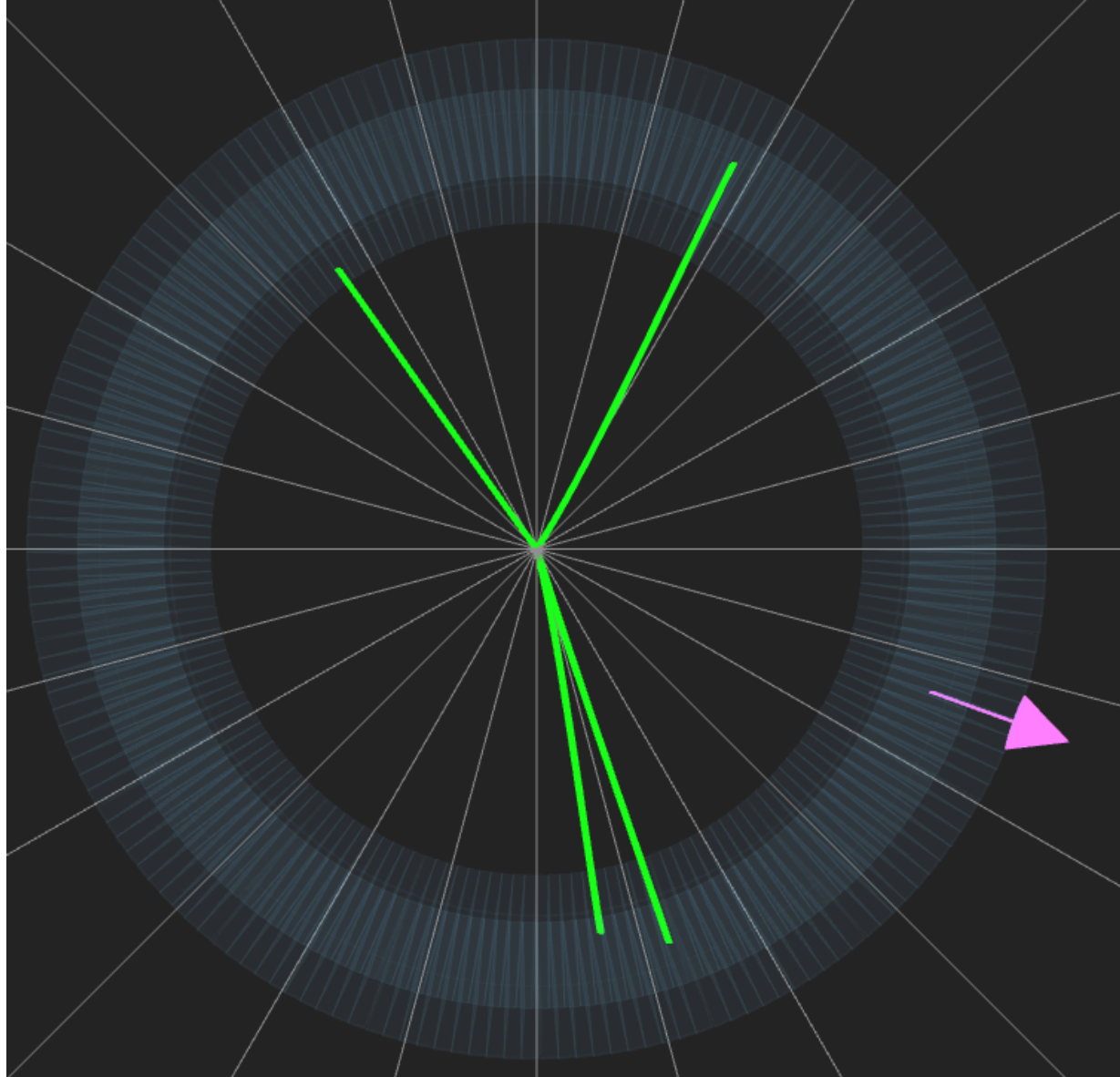
Zoo

W⁻ bozonas

Enter Mass

GeV/c²

Masės vesti nereikia,
spaudžiame „next“



- Dvi elektrono-pozitrono poros
- Panašu, kad tai galėtų būti Higso bozono (arba kitos neutralios dalelės) įvykis
- Reikėtų išmatuoti keturių elektronų invariantinę masę

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-5

Įvykis 5

Final State

e v μ v

e e μ μ

4e 4 μ

2e 2 μ

Dvi elektrono-pozitrono poros (4e)

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle
(Z, H)

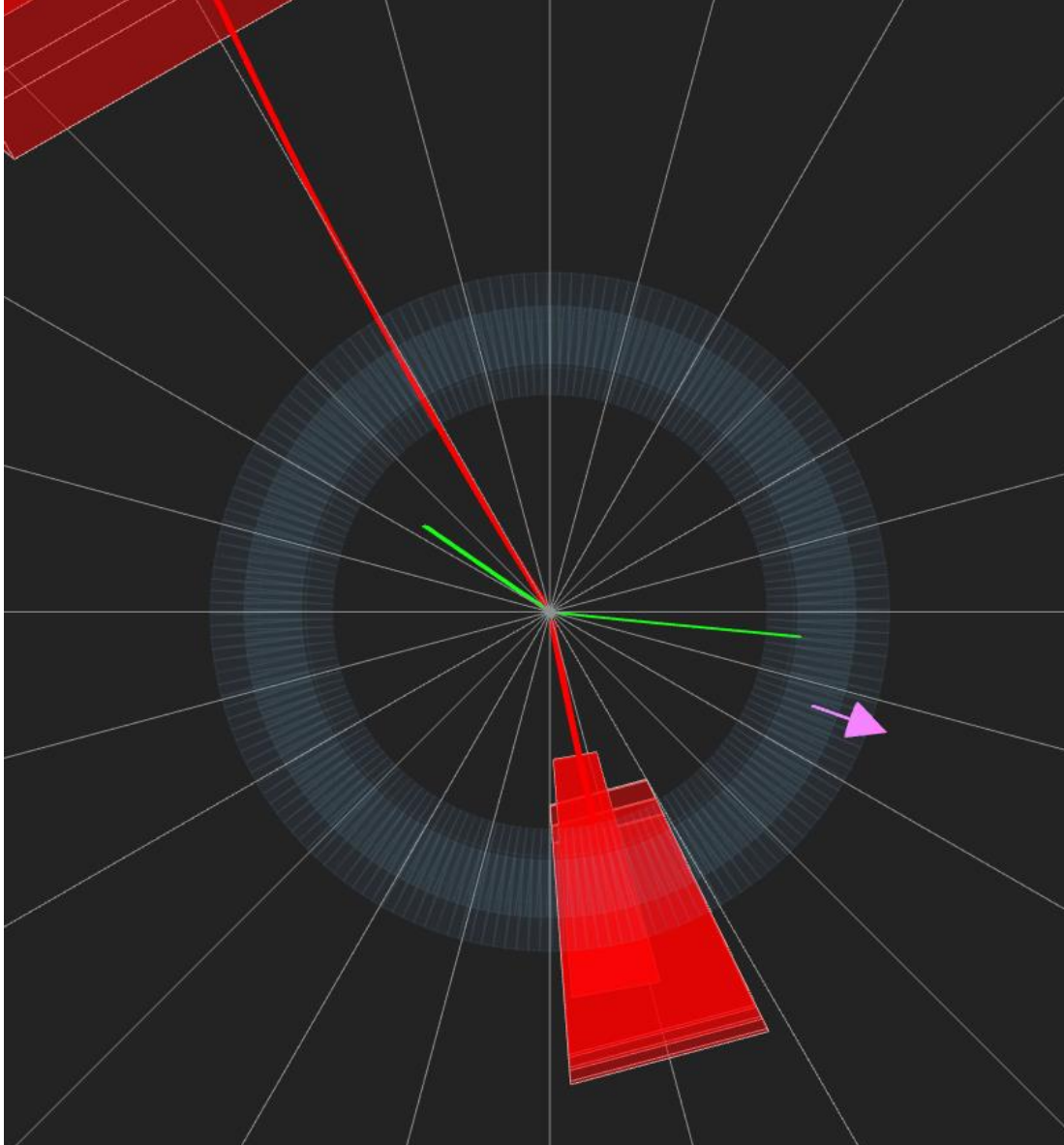
Zoo

Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

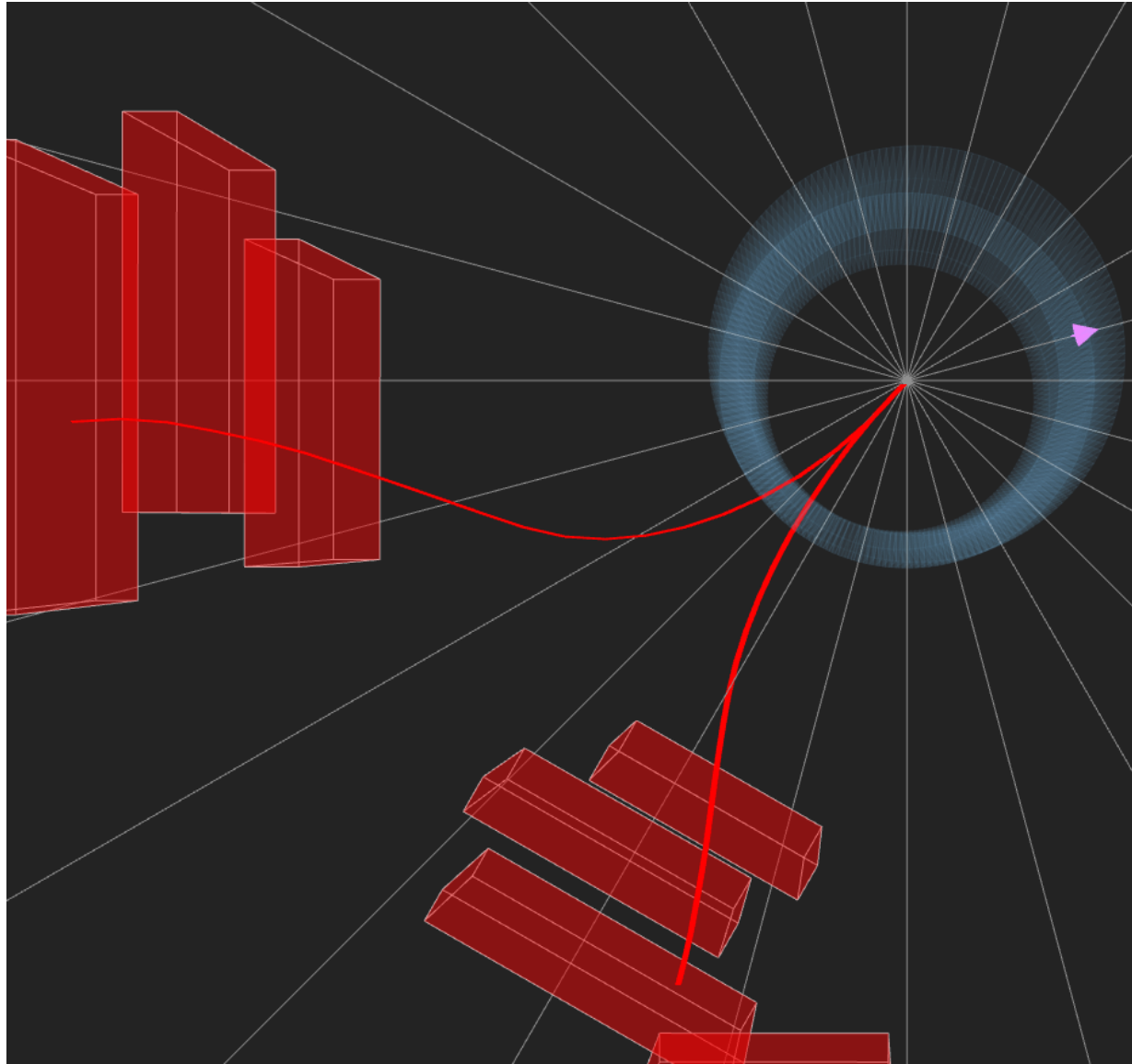
Įvedame apskaičiuotą keturių leptonų masę ir spaudžiame „next“



- Elektrono-pozitrono pora, kartu su miuono-antimiuono pora
- Panašu, kad tai galėtų būti Higso bozono (arba kitos neutralios dalelės) įvykis
- Reikėtų išmatuoti keturių leptonų invariantinę masę

Įvedame informaciją į CIMA

<p>Select Event</p> <p>Event index: <input type="text" value="6"/></p> <p>Event number: 10.7-6</p> <p style="text-align: center;">Įvykis 6</p>	<p>Final State</p> <p><input type="radio"/> e v <input type="radio"/> μ v</p> <p><input type="radio"/> e e <input type="radio"/> μ μ</p> <p><input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4μ</p> <p><input checked="" type="radio"/> 2e 2μ</p> <p style="text-align: center;">Elektrono-pozitrono (2e) ir miuono-antimiuono (2μ) poros</p>
<p>Primary State</p> <p>Charged Particle:</p> <p><input type="radio"/> W+ <input type="radio"/> W- <input type="radio"/> W\pm</p> <p><input checked="" type="radio"/> Neutral Particle (Z, H)</p> <p><input type="radio"/> Zoo</p> <p style="text-align: center;">Neutrali dalelė</p>	<p>Enter Mass</p> <p><input type="text" value="92.66"/> GeV/c²</p> <p><input type="button" value="Next"/></p> <p style="text-align: center;">Įvedame apskaičiuotą keturių leptonų masę ir spaudžiame „next“</p>



- Miuono-antimiuono pora
- Panašu, kad tai galėtų būti Z bozono (arba kitos neutralios dalelės) įvykis
- Reikėtų išmatuoti miuonų poros invariantinę masę

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-7

Įvykis 7

Final State

e v $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

Miuonas-antimiuonas ($\mu\mu$)

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle
(Z, H)

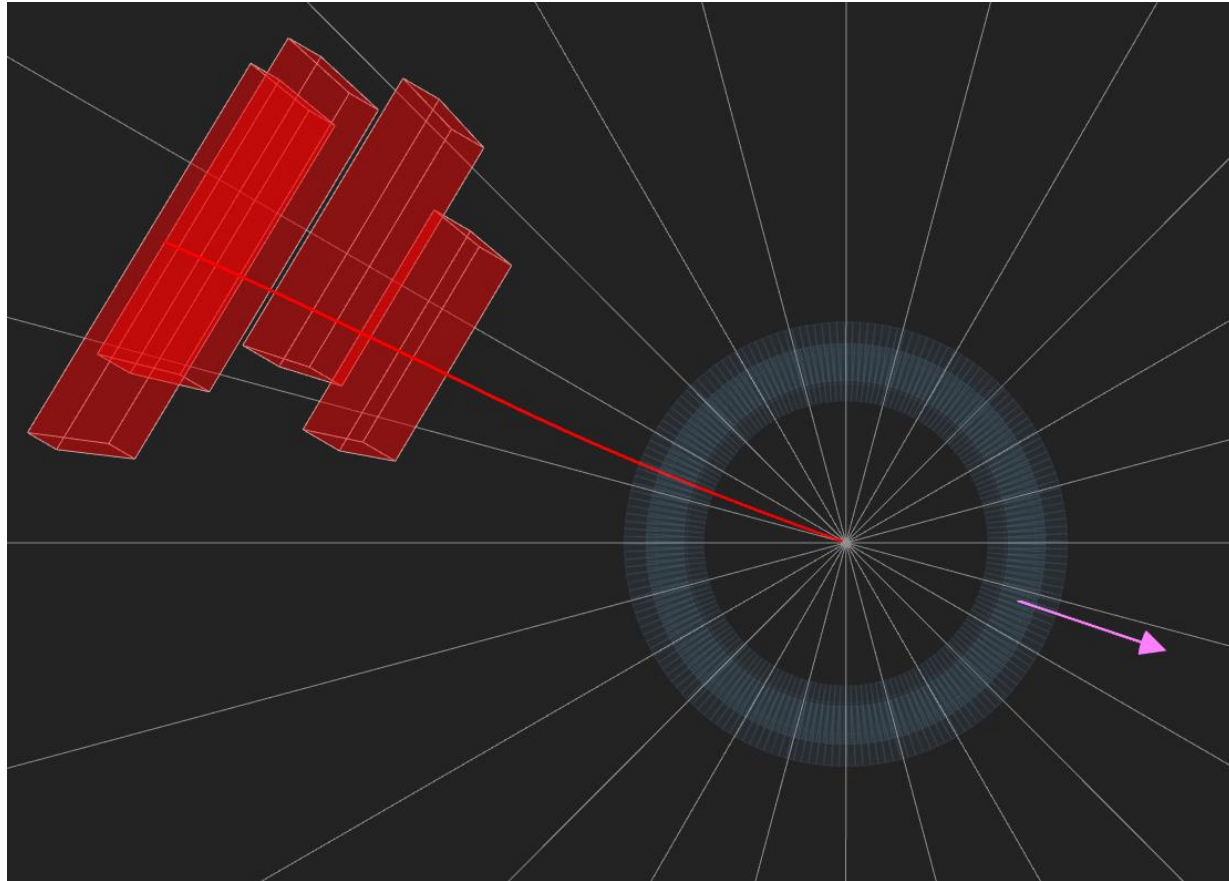
Zoo

Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

Įvedame apskaičiuotą masę ir spaudžiame „next“



- Miuonas ir trūkstama energija (neutrinas)
- Panašu, kad tai galėtų būti W^+ bozono įvykis

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-7

Įvykis 8

Final State

e ν $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

Miuonas (μ) ir neutrinas (ν)

Primary State

Charged Particle:

W⁺ W⁻ W[±]

Neutral Particle
(Z, H)

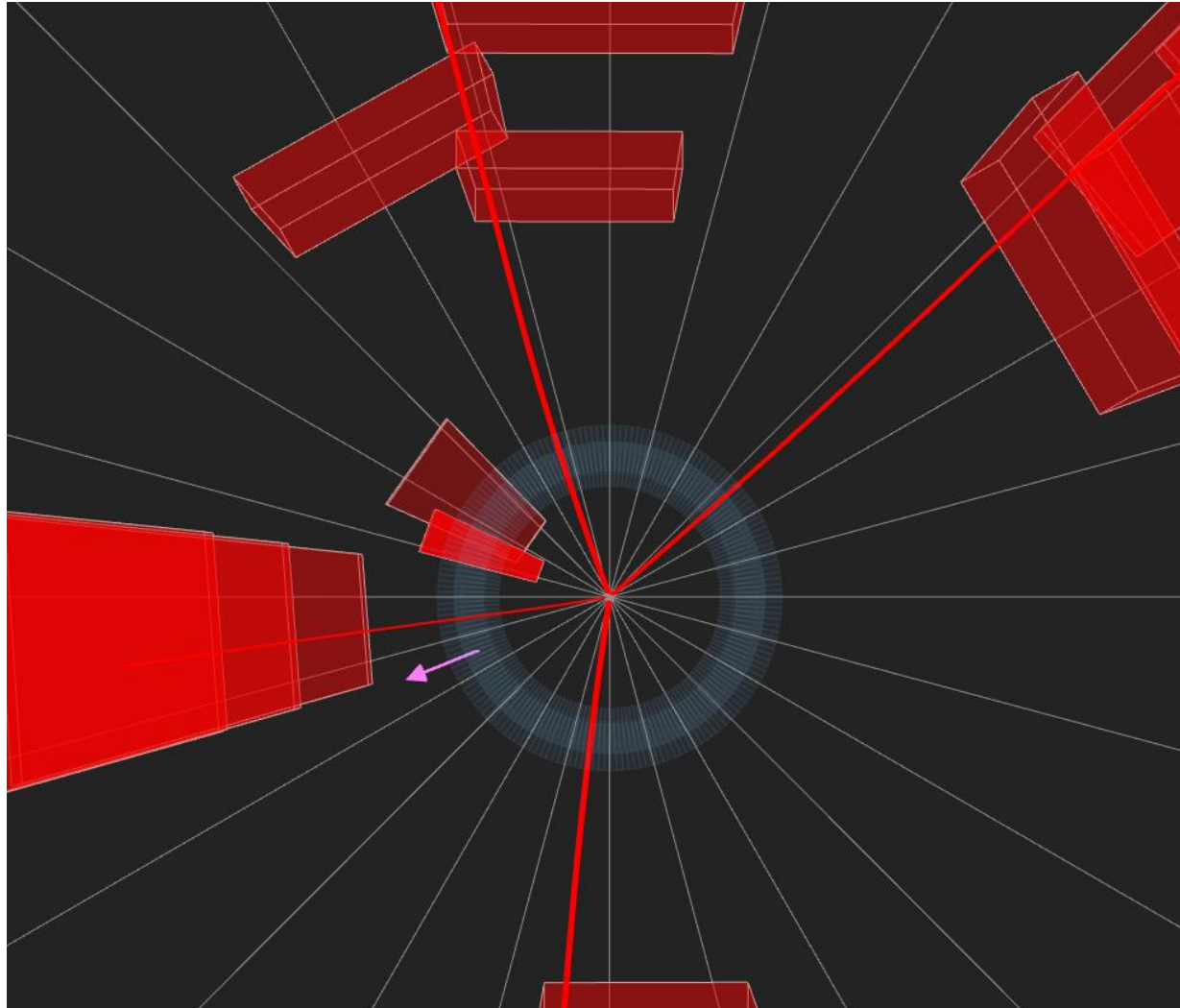
Zoo

W⁺ bozonas

Enter Mass

GeV/c²

Masės vesti nereikia,
spaudžiame „next“



- Dvi miuono-antimiuono poros
- Panašu, kad tai galėtų būti Higso bozono (arba kitos neutralios dalelės) įvykis
- Reikėtų išmatuoti keturių miuonų invariantinę masę

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-9

Įvykis 9

Final State

e ν μ ν

e e μ μ

4e 4μ

2e 2μ

Dvi miuono-antimiuono poros (4μ)

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W±

Neutral Particle (Z, H)

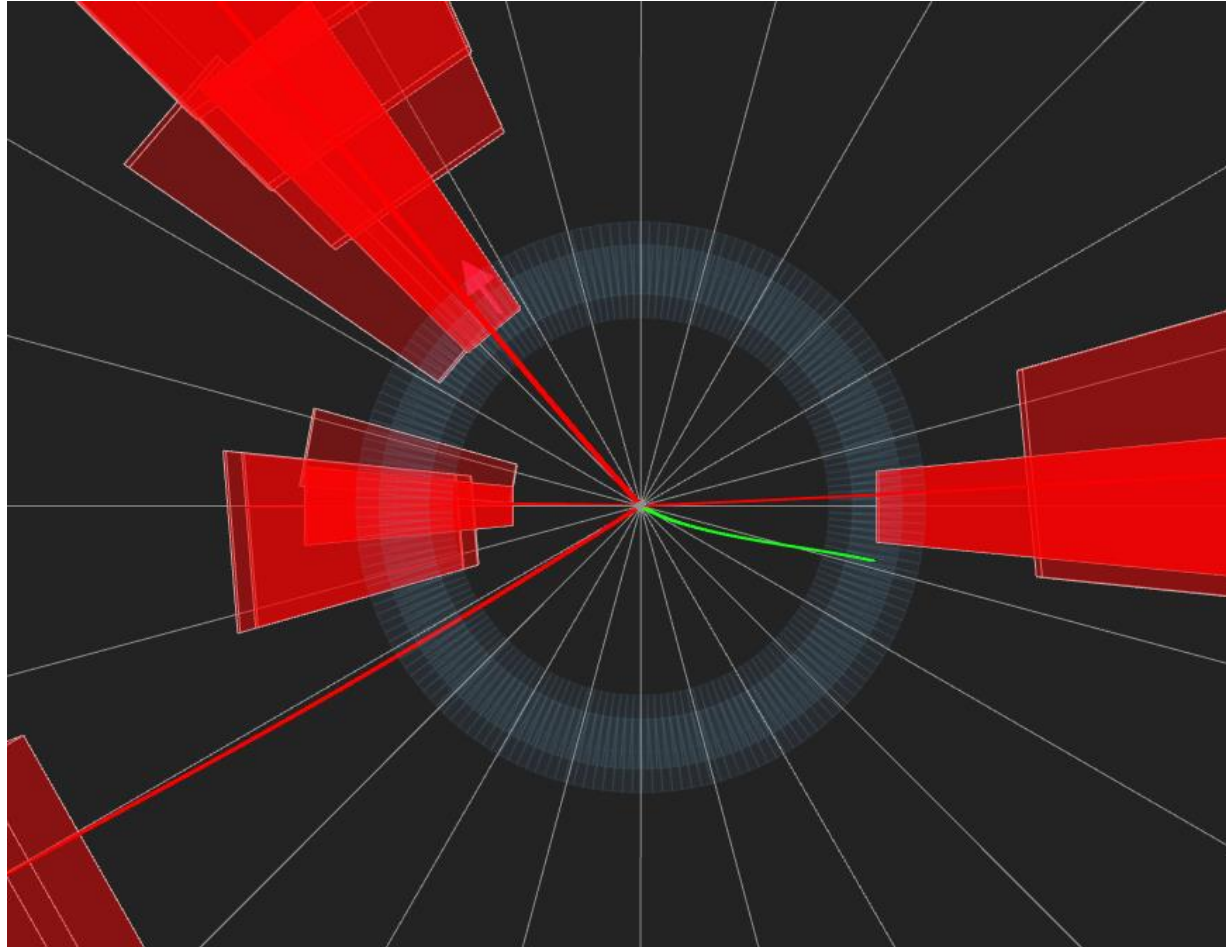
Zoo

Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

Įvedame apskaičiuotą keturių leptonų masę ir spaudžiame „next“



- Keturi miuonai ir elektronas
- Tokia galutinė būseną nepanaši į nei vieną iš tų, kurių galime tikėtis šioje užduotyje
- Žymime, kad tai yra mūsų nedominantis („zoo“) įvykis

Įvedame informaciją į CIMA

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-10

Įvykis 10

Final State

e v μ v

e e μ μ

4e 4 μ

2e 2 μ

Nežymime jokios galutinės būsenos

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle
(Z, H)

Zoo

Su mūsų tyrimu nesusijęs įvykis („Zoo“)

Enter Mass

GeV/c²

Masės vesti nereikia, spaudžiame „next“

Jūs jau pasiruošę! Sėkmės!



Žodis iSPY programoje	Vertimas / paaiškinimas
Pixel barrel (endcap)	Pikselinio detektoriaus cilindrinė (antgalio) dalis
Tracker inner (outer) barrel (endcap)	Vidinio (išorinio) silicio trekerio cilindrinė (antgalio) dalis
ECAL barrel (endcap)	Elektromagnetinio kalorimetro cilindrinė (antgalio) dalis
HCAL barrel (endcap)	Hadronų kalorimetro cilindrinė (antgalio) dalis
HCAL outer (forward)	Išorinis (priekinis) hadronų kalorimetras
Drift Tubes, Cathode Strip Chambers, Resistive Plate Chambers	Skirtingų tipų dujiniai miuonų detektoriai
Event	(Protonų susidūrimo) įvykis
Tracks (reco.)	Atkurti įvykio metu susidariusių mažos energijos dalelių pėdsakai (trekai)
ECAL (HCAL) barrel (endcap) rec. hits	Užfiksuoti pataikymai į elektromagnetinio (hadronų) kalorimetro cilindro (antgalių) dalis
Matching muon chambers	Miuonų detektorių sistemos segmentai, į kuriuos užfiksuoti pataikymai
Global (stand-alone) muons	Miuonų pėdsakai, atkurti iš pataikymų į trekerį ir miuonų detektorius
Stand-alone muons	Miuonų pėdsakai, atkurti tik iš pataikymų į miuonų detektorius
Tracker muons	Miuonų pėdsakai, atkurti tik iš pataikymų į trekerį
Vertices	Viršūnės (protonų susidūrimo / dalelių skilimo vietos)
Electron tracks	Elektronų pėdsakai
Photons	Fotonai
Jets	Dalelių (daugiausia hadronų) srautai – čiurkšlės
Missing Et	Skersinės energijos (skersinio impulso) trūkumas