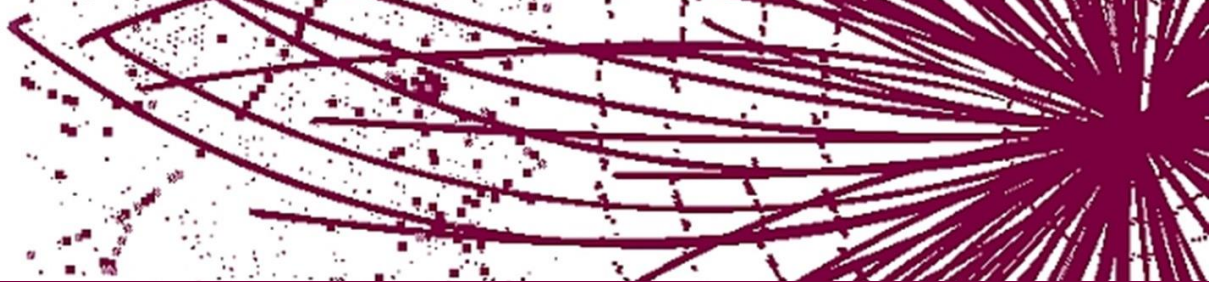




Branduolių ir
elementariųjų
dalelių fizikos
centras



CMS tarptautinė meistriškumo pamoka 2023

W , Z ir Higso bozonų paieška

Marijus Ambrozas

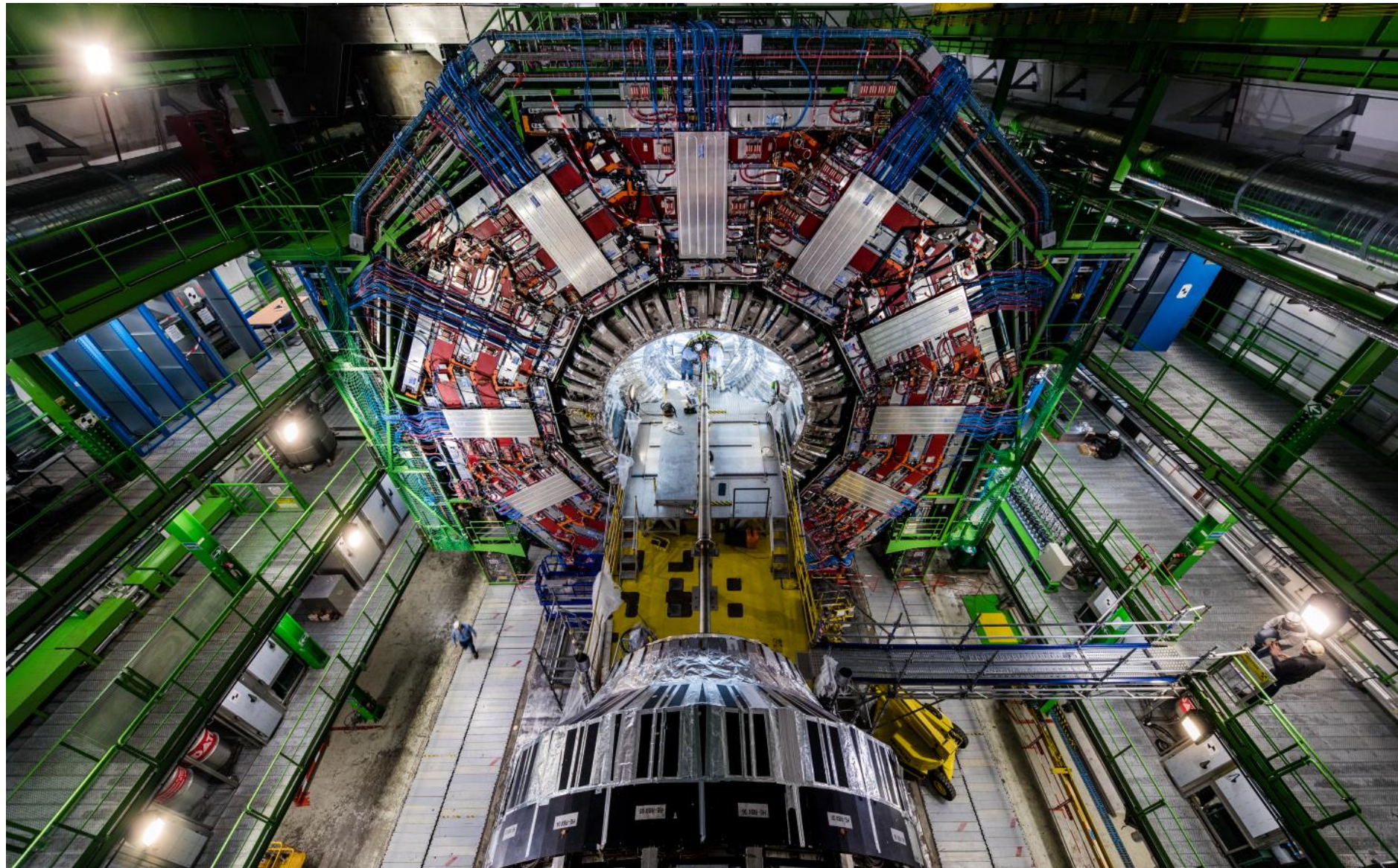
marijus.ambrozas@gmail.com

2023-03-29

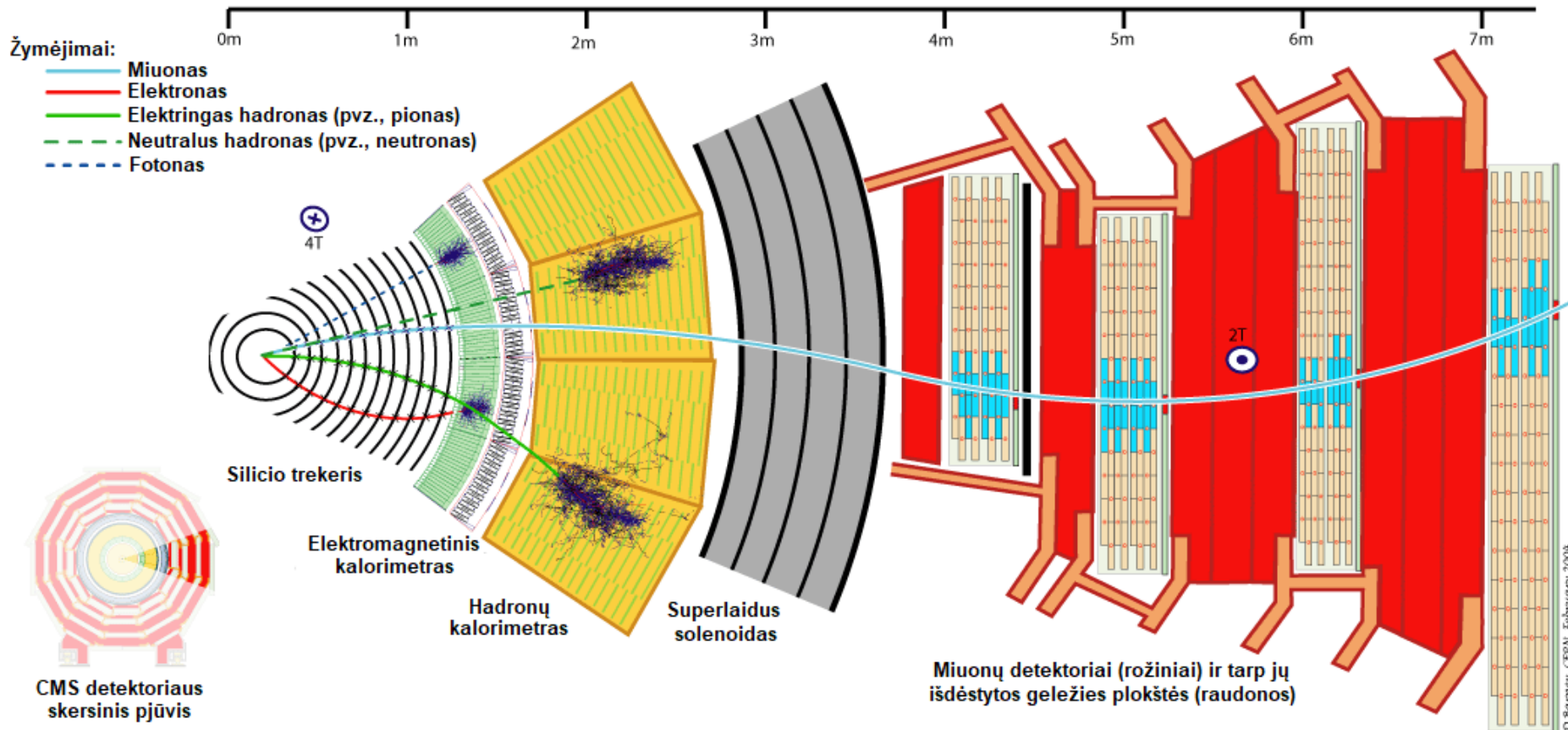
Standartinis modelis

	Masė (mass)	Krūvis (charge)	Sukinys (spin)	Symbol	English Name	Lithuanian Name
KVARKAI QUARKS	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	u	up	kylantysis
	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	c	charm	žavusis
	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	t	top	viršūninis
	0	0	1	g	gluon	gliuonas
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	d	down	krintantysis
	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	s	strange	keistasis
LEPTONAI LEPTONS	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	b	bottom	gelminis
	0	0	1	γ	photon	fotonas
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	-1	$\frac{1}{2}$	e	electron	elektronas
	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	-1	$\frac{1}{2}$	μ	muon	miuonas
	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	-1	$\frac{1}{2}$	τ	tau	taonas
	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	0	1	Z	Z boson	Z bozonas
$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	0	$\frac{1}{2}$	ν_e	electron neutrino	elektroninis neutrinas	
$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	0	$\frac{1}{2}$	ν_μ	muon neutrino	miuoninis neutrinas	
$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	0	$\frac{1}{2}$	ν_τ	tau neutrino	tau neutrinas	
$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	± 1	1	W	W boson	W bozonas	
$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$	0	0	H	Higgs boson	Higso bozonas	

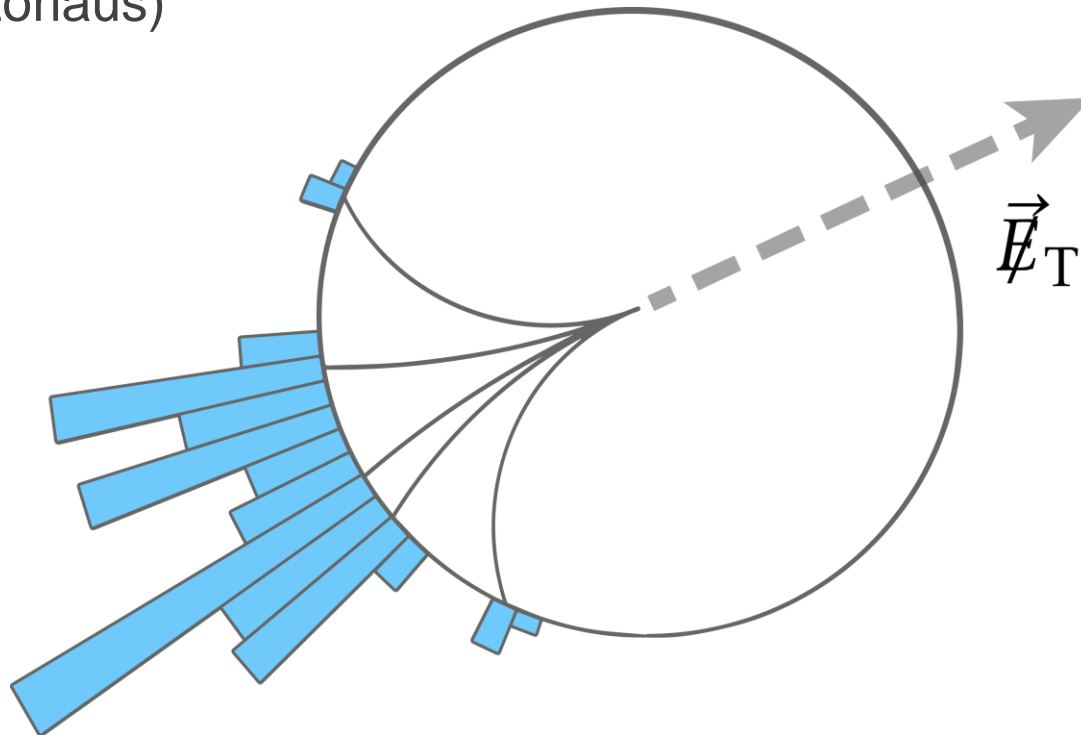
CMS – Kompaktiškasis miuonų solenoidas



CMS detektorius



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

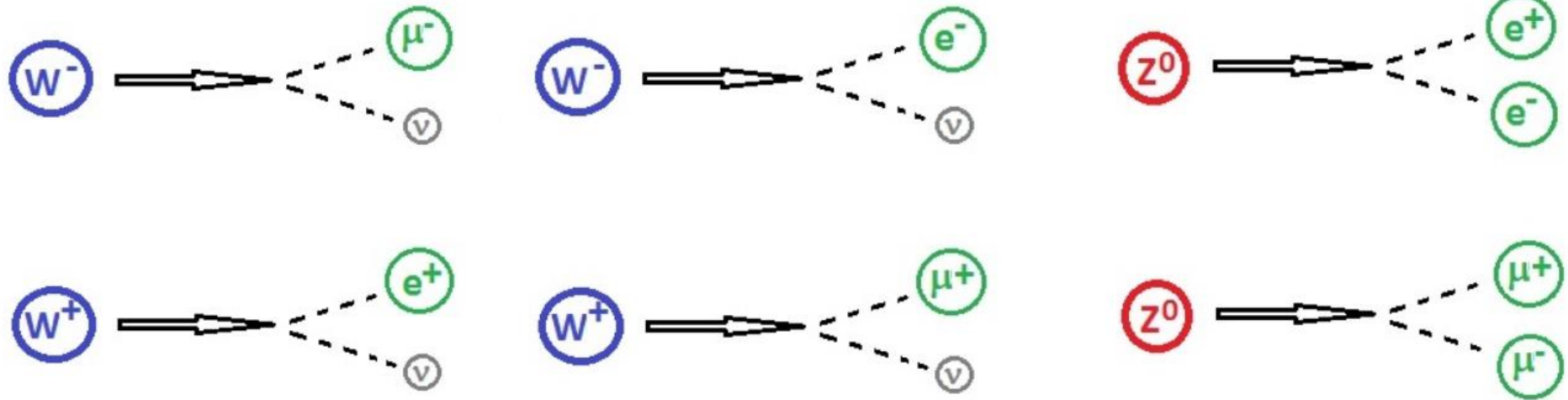


Skersinis impulsas – tai dalelės impulso dedamoji, statmena susiduriančių protonų lėkimo kryptiai.

O 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:

■ $H^0 \rightarrow Z^0 Z^0$

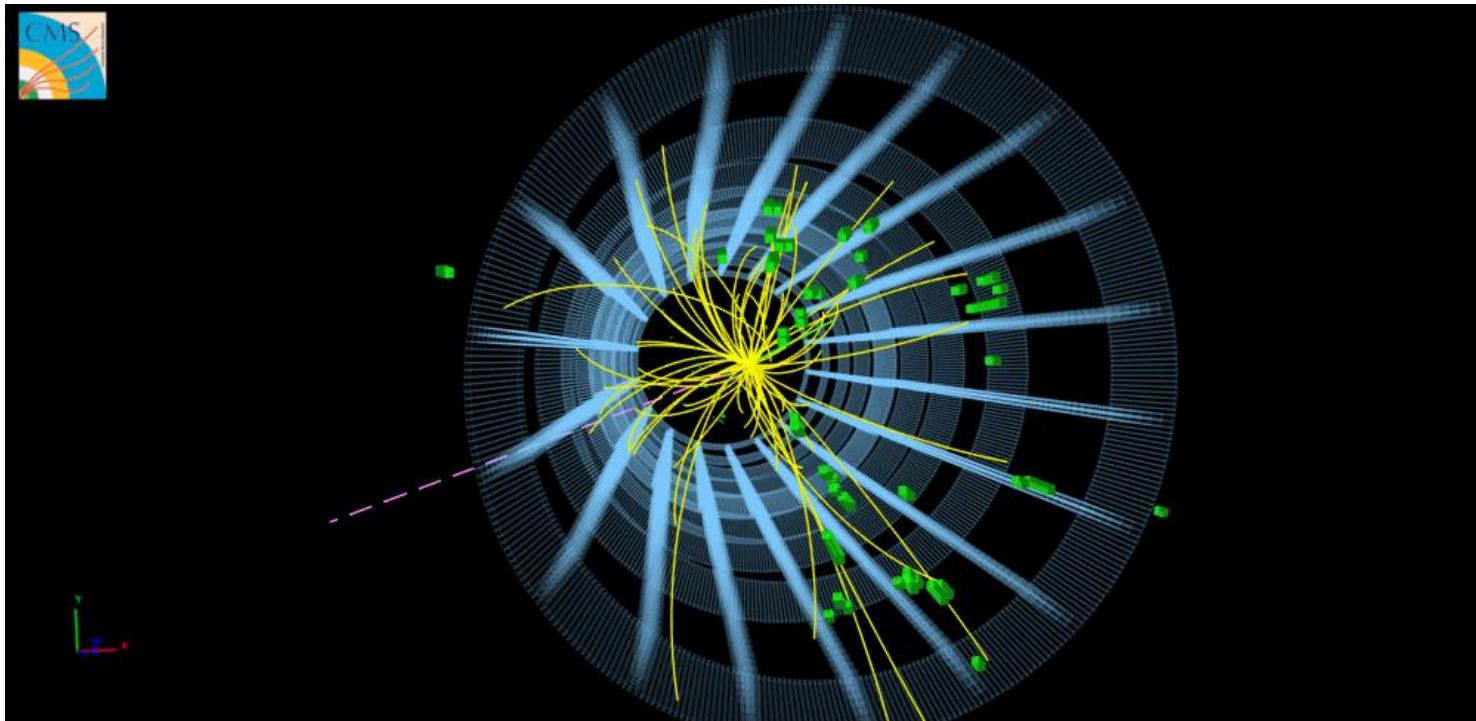
Tai ką vis dėlto reikės daryti?



- 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 Higso bozono įvykį?
- Savo stebėjimų rezultatus supildyti į **CIMA** duomenų bazę

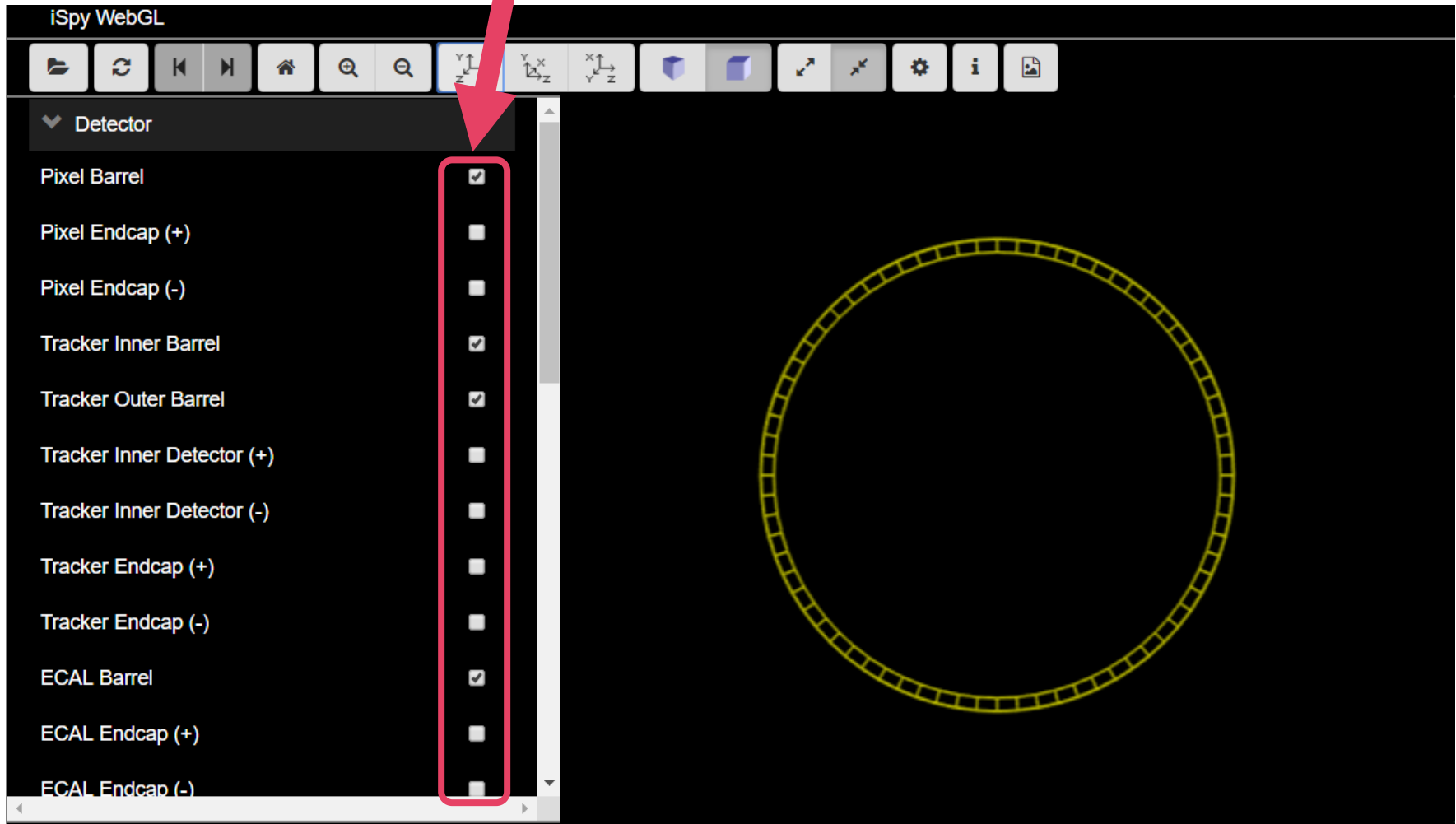
Kaip pradėti?

- 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

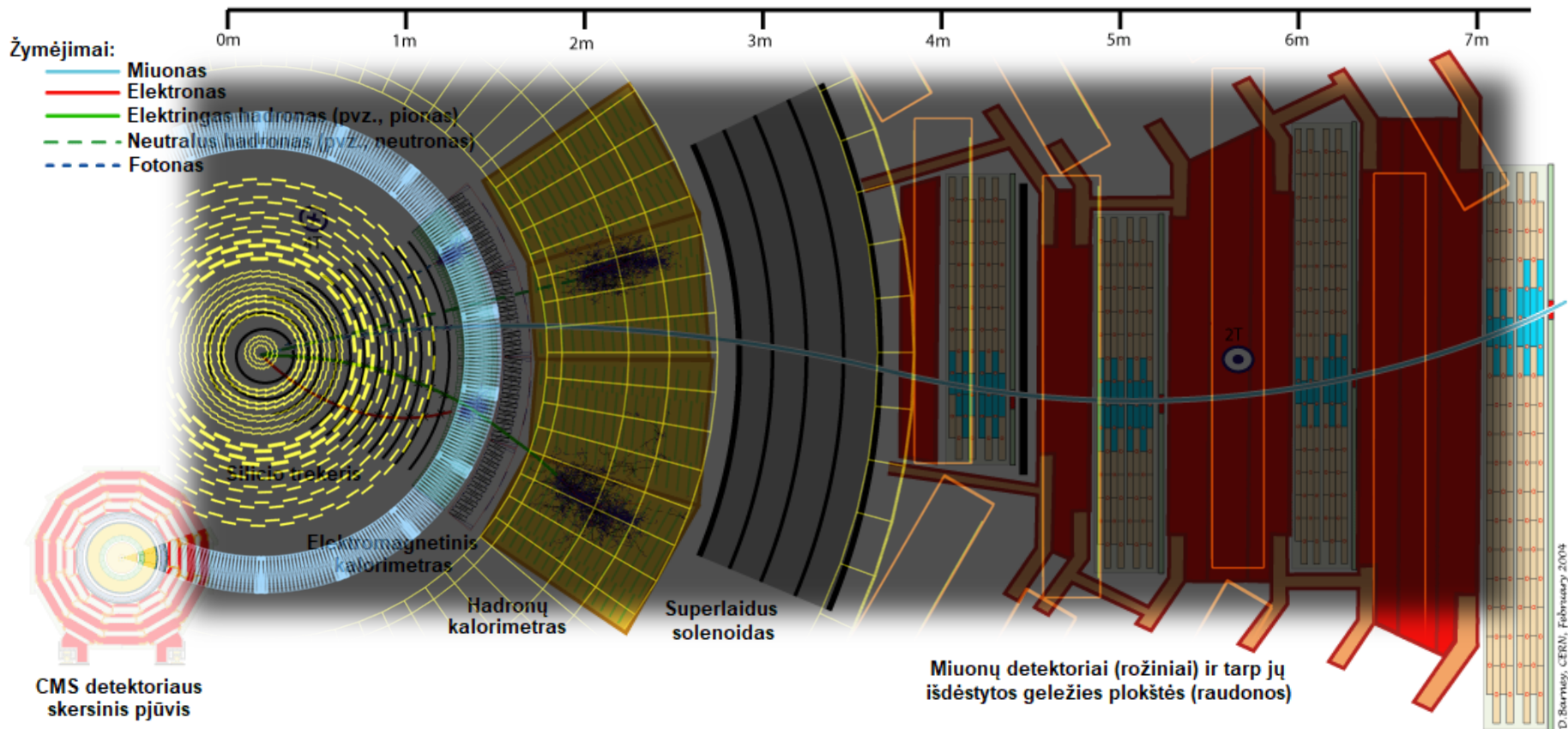


Programa iSpy WebGL: detektorius

Visų detektoriaus komponentų rodymą galima įjungti arba išjungti naudojant **kairėjeje ekrano pusėje** esančius žymeklius

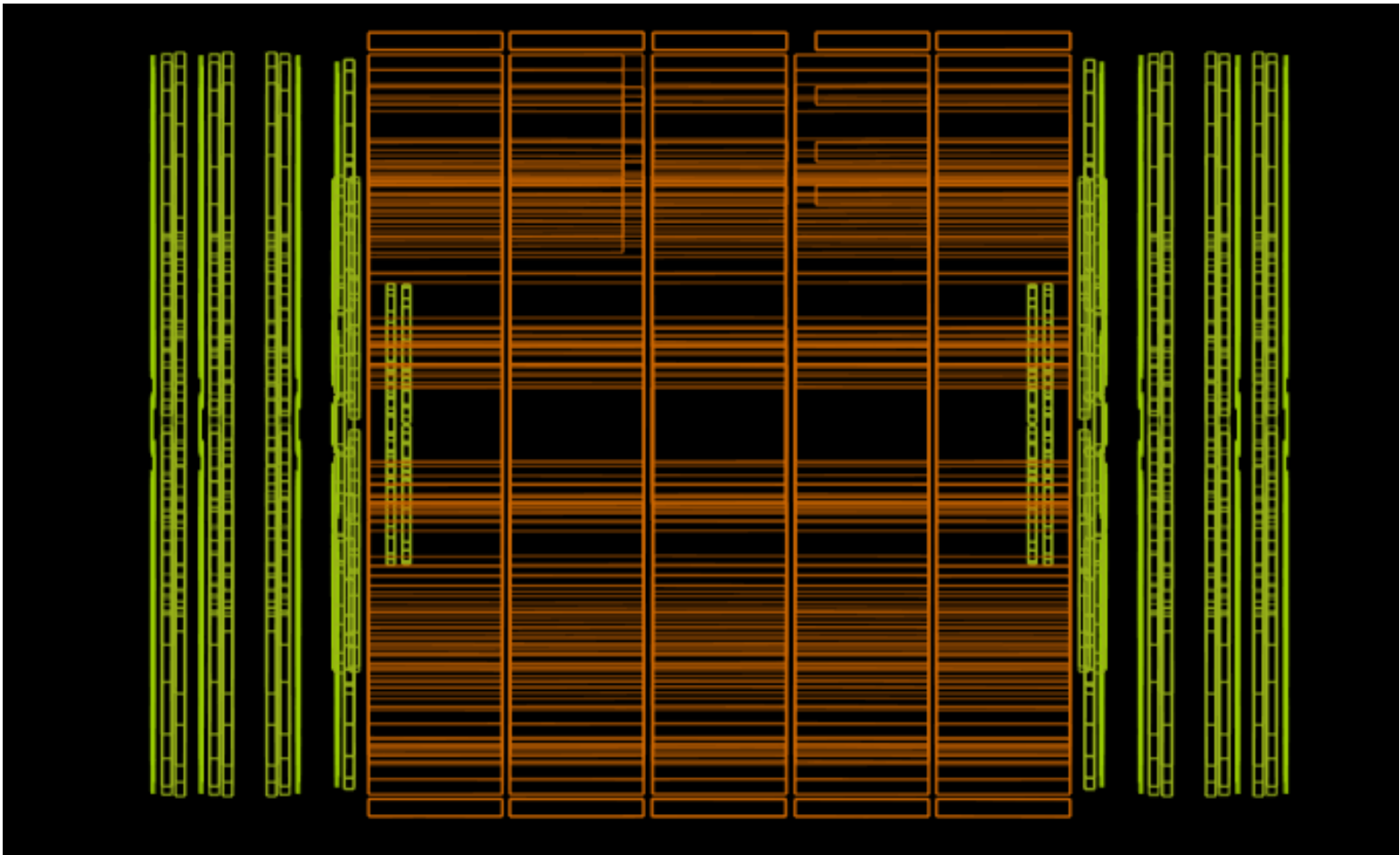


Programa iSpy WebGL: detektorius



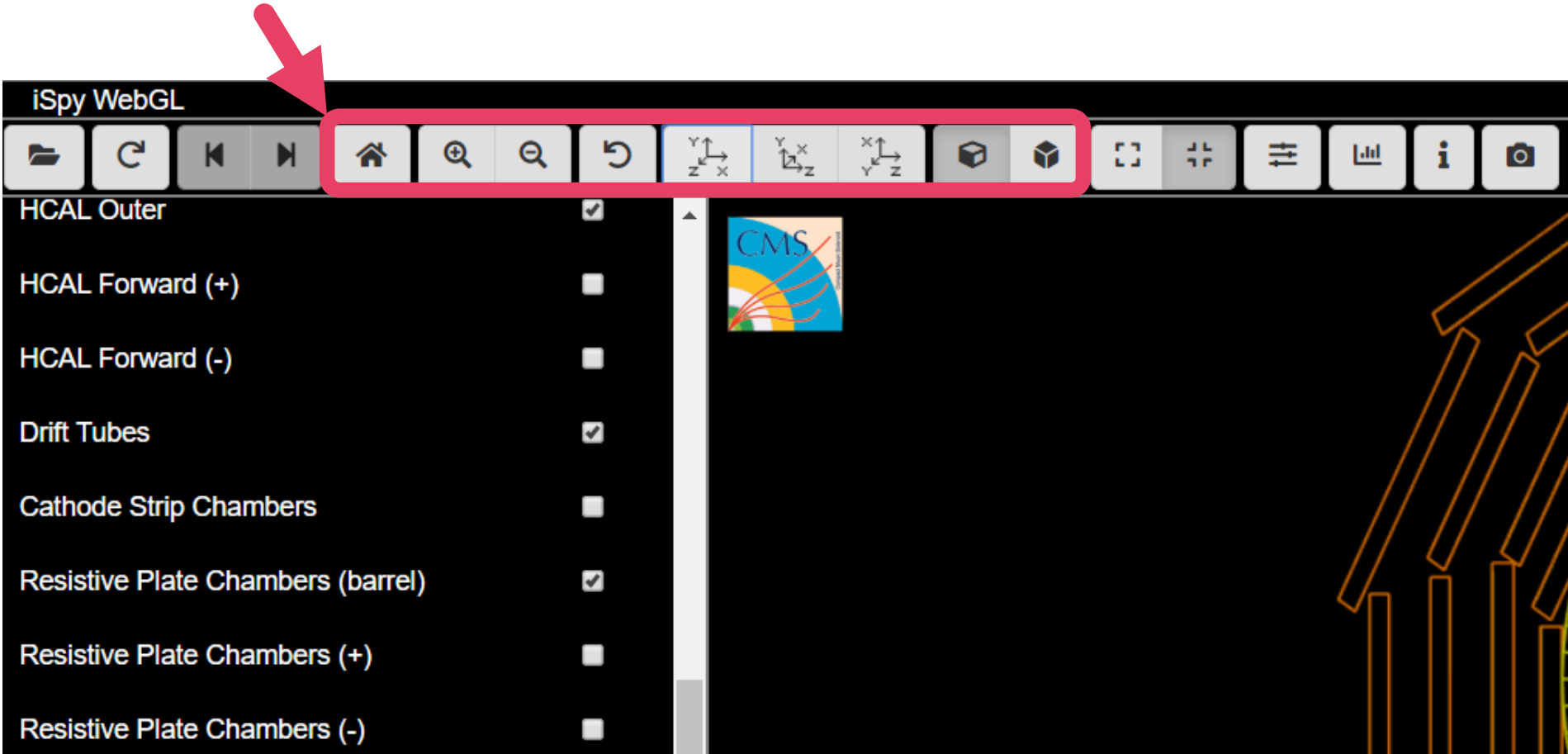
Programa iSpy WebGL: detektorius

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



Programa iSpy WebGL: detektorius

Detektoriaus rodymą galima paprastai reguliuoti naudojant šiuos mygtukus



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

Turėsite peržiūrėti 100 (jeigu spėsite) protonų susidūrimo įvykių ir nustatyti, koks įvykis tai galėjo būti: W bozono, neutralios dalelės (Z arba Higgs bozono), ar mūsų nedominantis („zoo“);

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

- Turėtumėte pasiekti pavaizduotą puslapį;
- Pasirinkite meistriškumo mokyklą (CERN-30Mar2022 → Vilnius2022) ir savo grupės numerį (bus nurodytas).



Choose your Masterclass	Choose your location	Choose your data file
CERN-22Mar2023	VilniusUniversity2023	100.1
CERN-24Mar2023	Nicosia2023B	100.11
CERN-28Mar2023	Kaunas2023	100.12
CERN-30Mar2023	MadridCIEMAT2023	100.13
CERN-IDWGS-10Feb2023	Sofia2023	100.14
		100.15

Prisijungimas prie CIMA



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

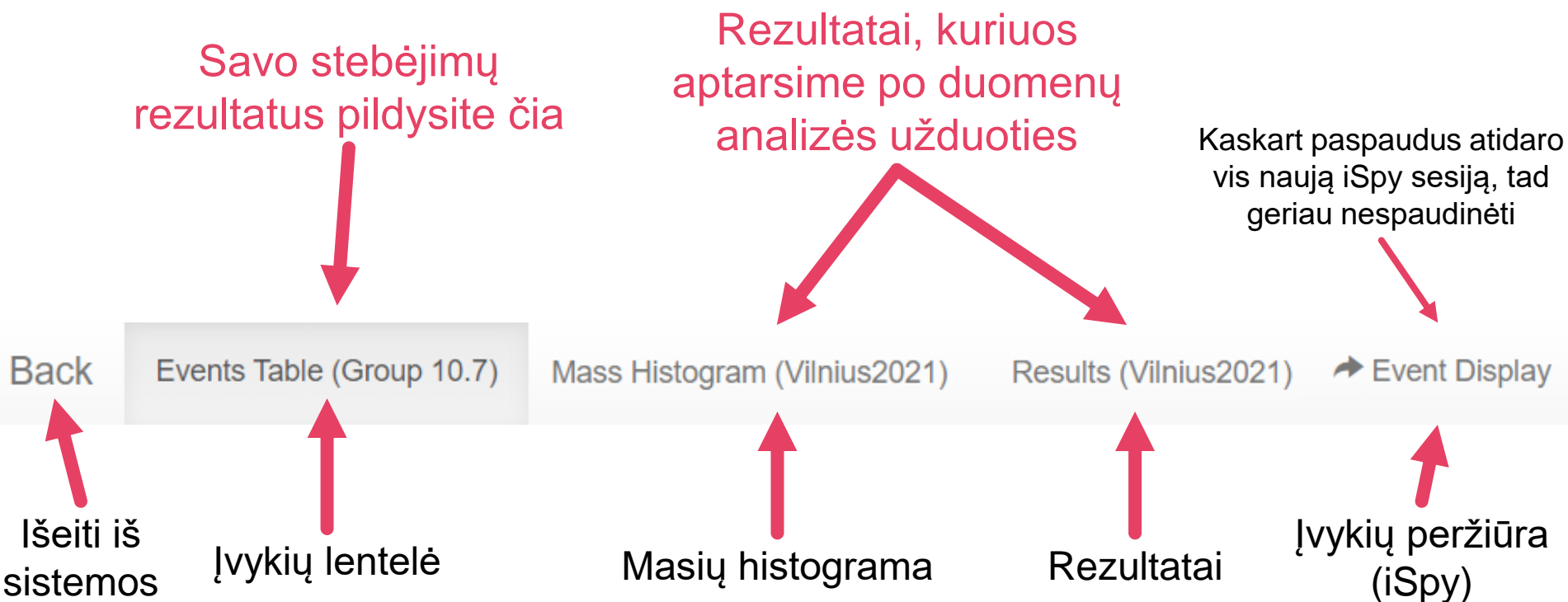
Location: Vilnius2021

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 ν <input type="radio"/> μ ν <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
-------------	--------------	-------------	---------------	------

Viršuje pamatysime penkias pagrindines skiltis



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
- e e
- 4e
- 2e 2μ
- μ ν
- μ μ
- 4μ

2. Nurodome, kokias daleles pastebėjome

Primary State

Charged Particle:

- W+
- W-
- W±
- Neutral Particle (Z, H)
- Zoo

3. Nurodome, kokios dalelės skilimą įtariame

Enter Mass

GeV/c²

Next

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

Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

- Dabar jau galima pradėti peržiūrėti protonų susidūrimo įvykius: grįžtame į **iSpy WebGL**;
- Spaudžiame **čia**:
- O tada **čia**:

The screenshot displays the iSpy WebGL interface. At the top, the title bar reads 'iSpy WebGL'. Below it is a toolbar with various navigation icons: a folder icon (highlighted with a red box and a red arrow), a refresh icon, left and right arrow icons, a home icon, zoom in and zoom out icons, a reset icon, and three 3D coordinate system icons (Y-Z, Y-X, X-Z). The main content area shows a detector visualization labeled 'HCAL Outer' with a list of components and their status (checked/unchecked):

Component	Status
HCAL Outer	✓
Members	□
Members (barrel)	✓
Members (+)	□

An 'Open File' dialog box is overlaid on the left side. It has a red 'X' in the top right corner. The dialog contains the following elements:

- A red box around the text 'Open file(s) from the Web'.
- A section titled 'Open local file(s):' with a 'Choose Files' button and the text 'No file chosen'.
- A 'Close' button at the bottom.

A red arrow points from the text 'O tada čia:' in the list above to the 'Open file(s) from the Web' option in the dialog box.

Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

- Iššokusiam sąrašė pasirenkame aplanką pavadinimu **NA**
- Tada pasirenkame failą su užrašu *masterclass2019_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

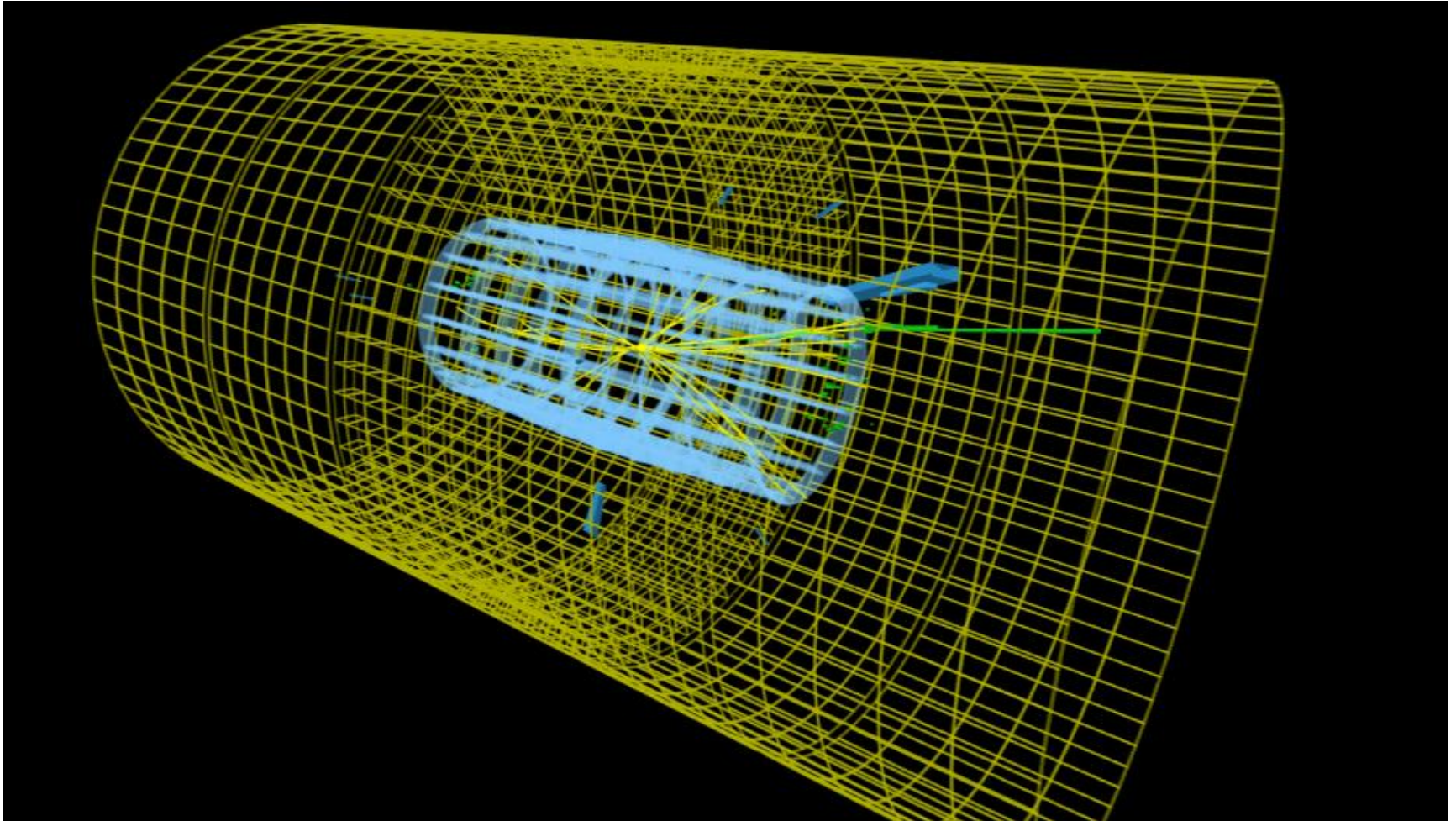
Files	Events
masterclass2019_1.ig	Events/Run_1/Event_1
masterclass2019_2.ig	Events/Run_1/Event_2
masterclass2019_3.ig	Events/Run_1/Event_3
masterclass2019_4.ig	Events/Run_1/Event_4
masterclass2019_5.ig	Events/Run_1/Event_5
	Events/Run_1/Event_6

Selected event
WZH paieška

Close Load

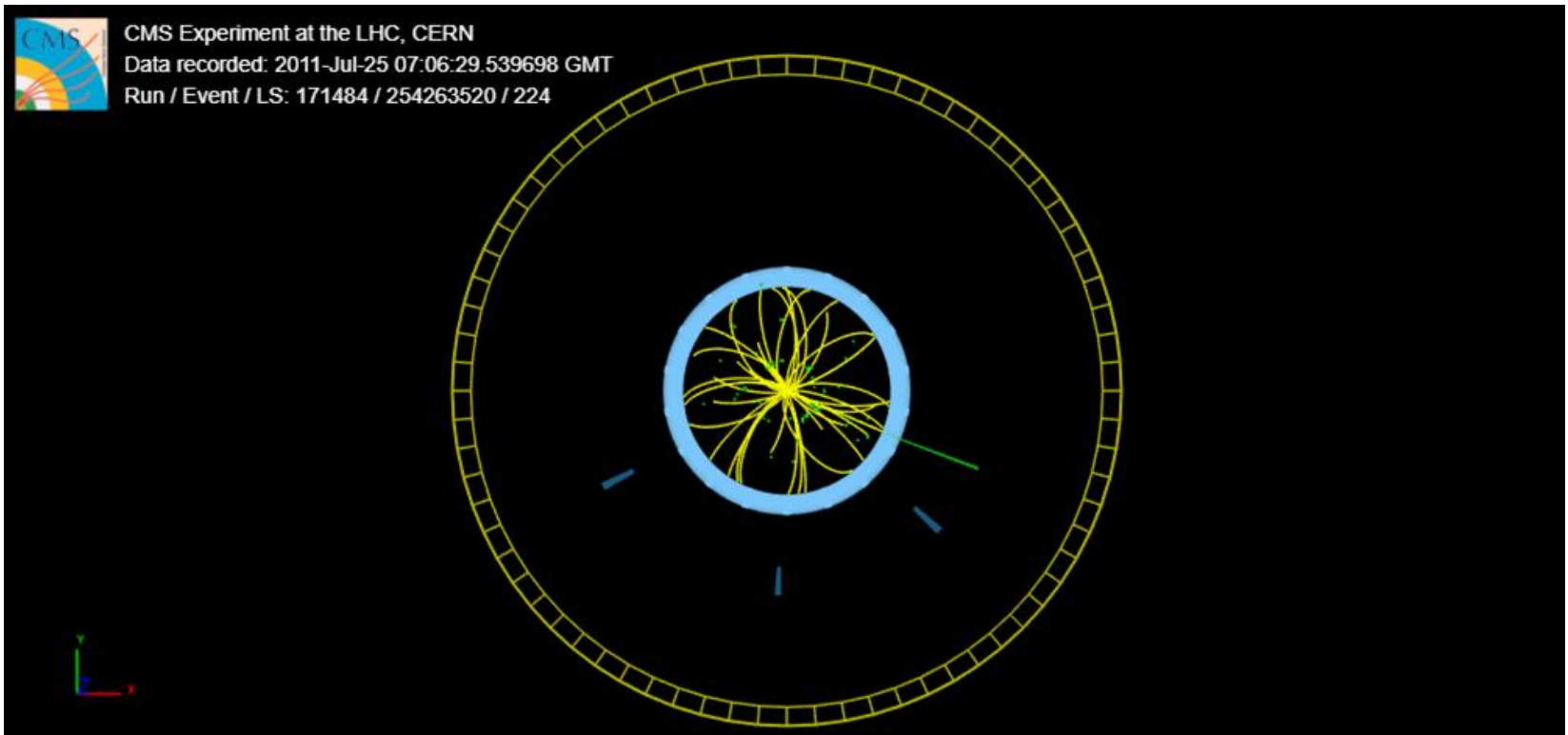
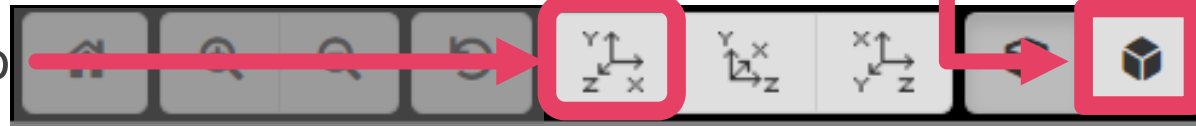
Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

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



Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

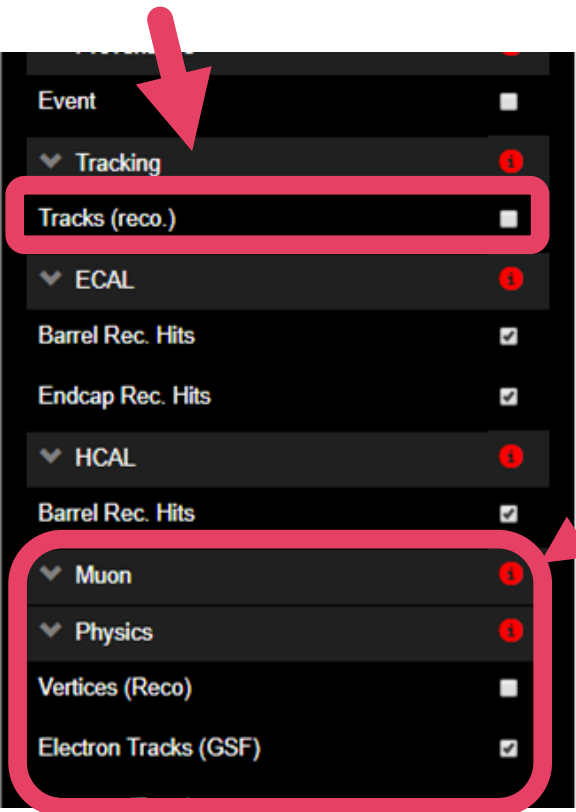
- Pirmiausia išjunkime perspektyvą
- Tada įsijunkime x-y vaizdo rodymą
- Situacija šiek tiek pagerėjo, bet ne pakankamai



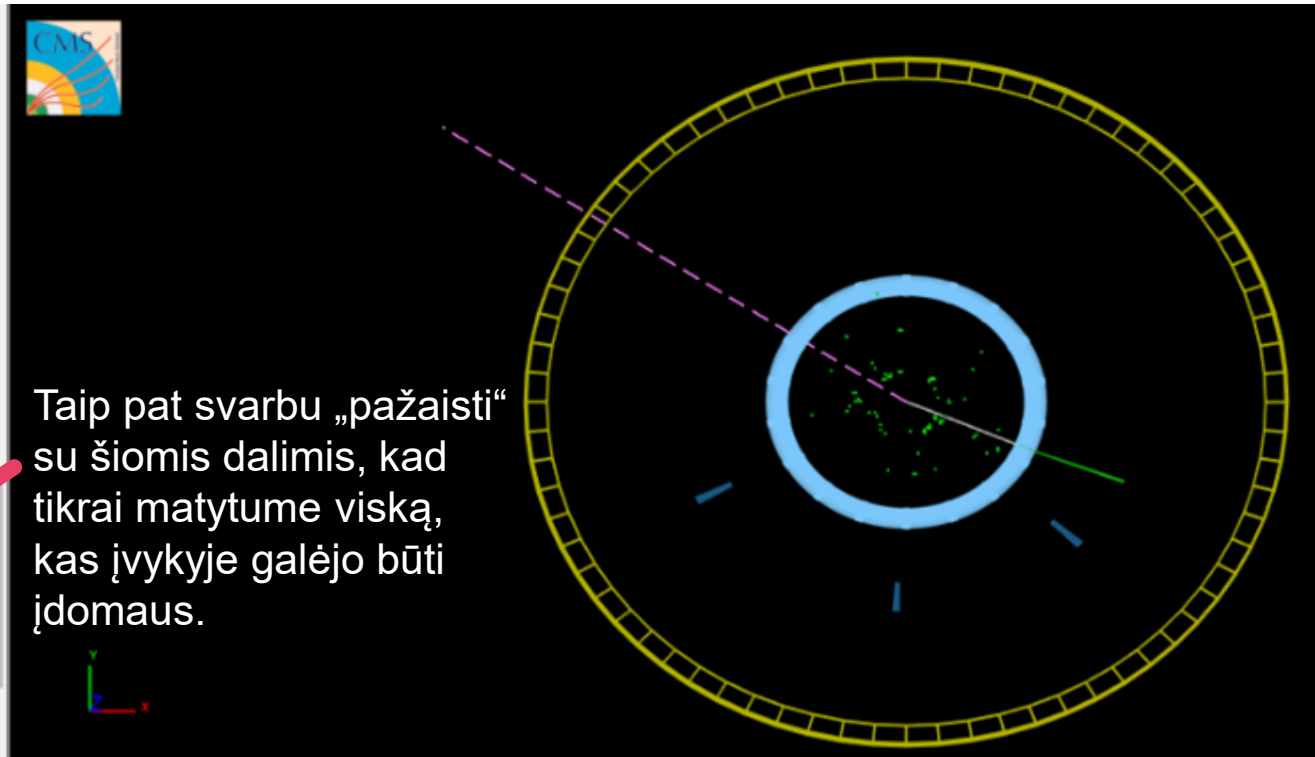
Protonų susidūrimo įvykių peržiūra

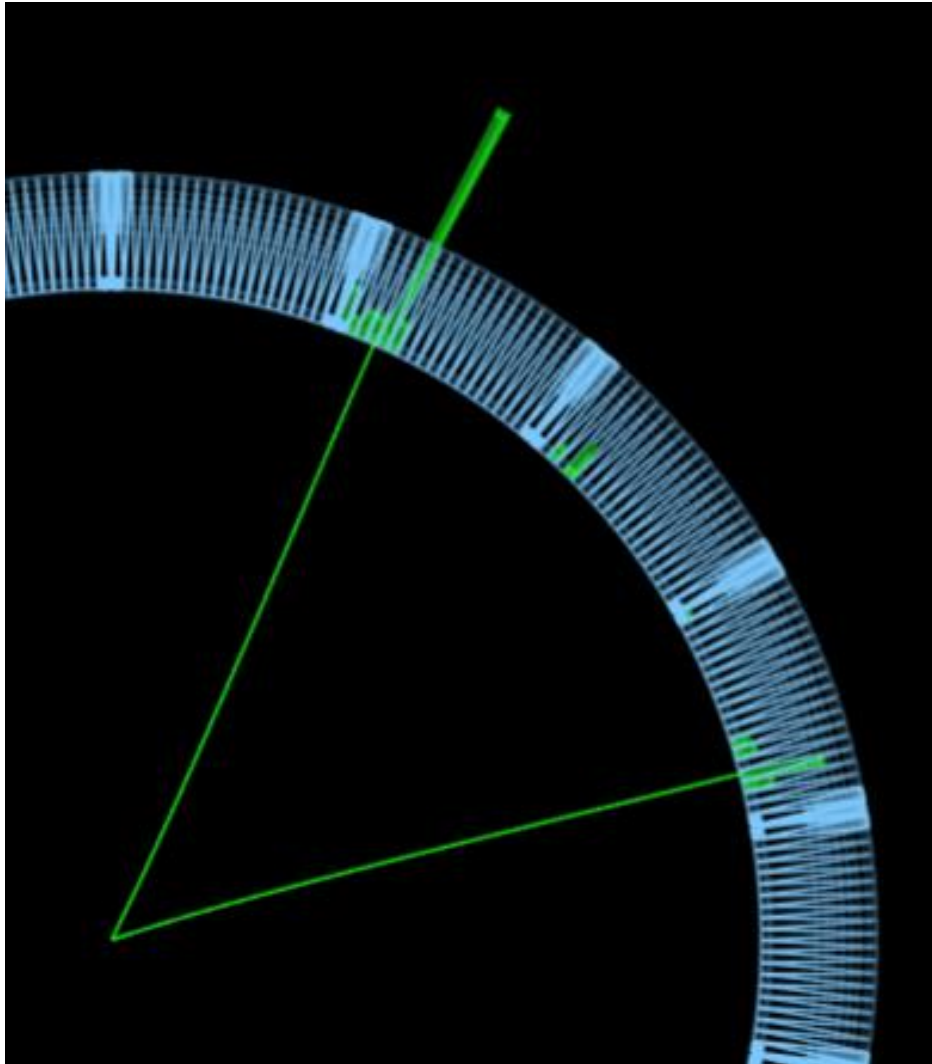
Kad geriau matytume tai, kas mus domina, išjungiamo atkurtą mažos energijos pėdsakų rodymą.

Rekomenduojama neįsijungti per didelio kiekio detektoriaus dalių rodymo.

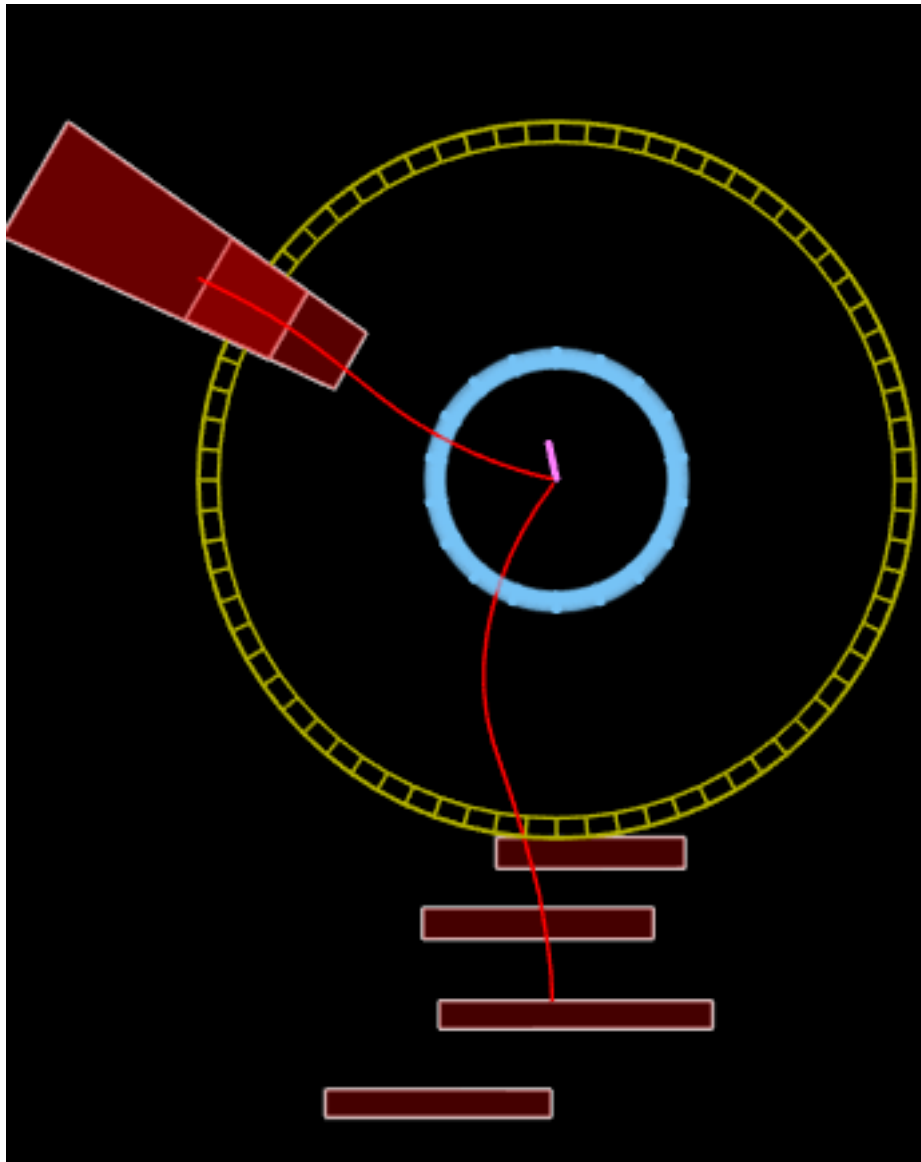


Taip pat svarbu „pažaisti“ su šiomis dalimis, kad tikrai matytume viską, kas įvykyje galėjo būti įdomaus.

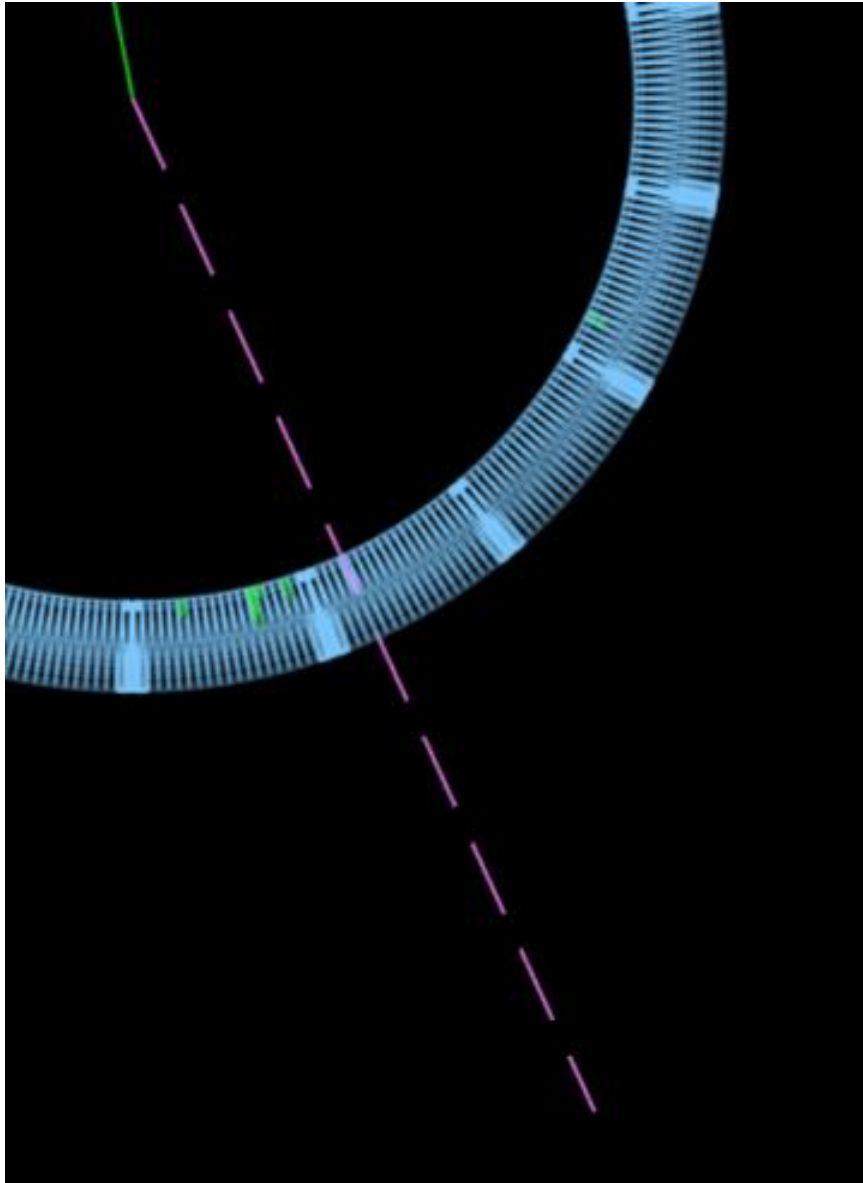




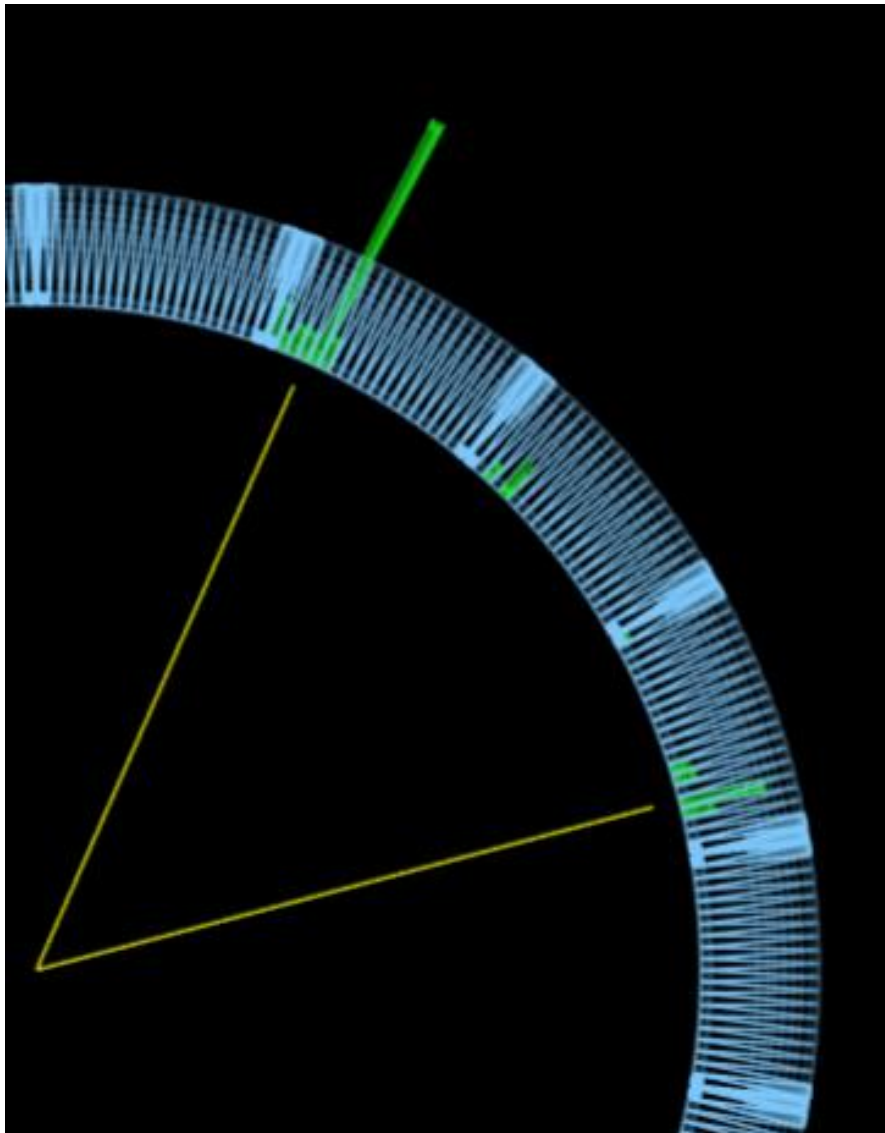
- Programoje **iSpy WebGL** elektronų pėdsakai vaizduojami **žaliai**
- Ten, kur elektronas pataikė į elektromagnetinį kalorimetrą, turėtumėte matyti žalius energijos „stulpus“
- CIMA duomenų bazėje elektronas žymimas raide **e**



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



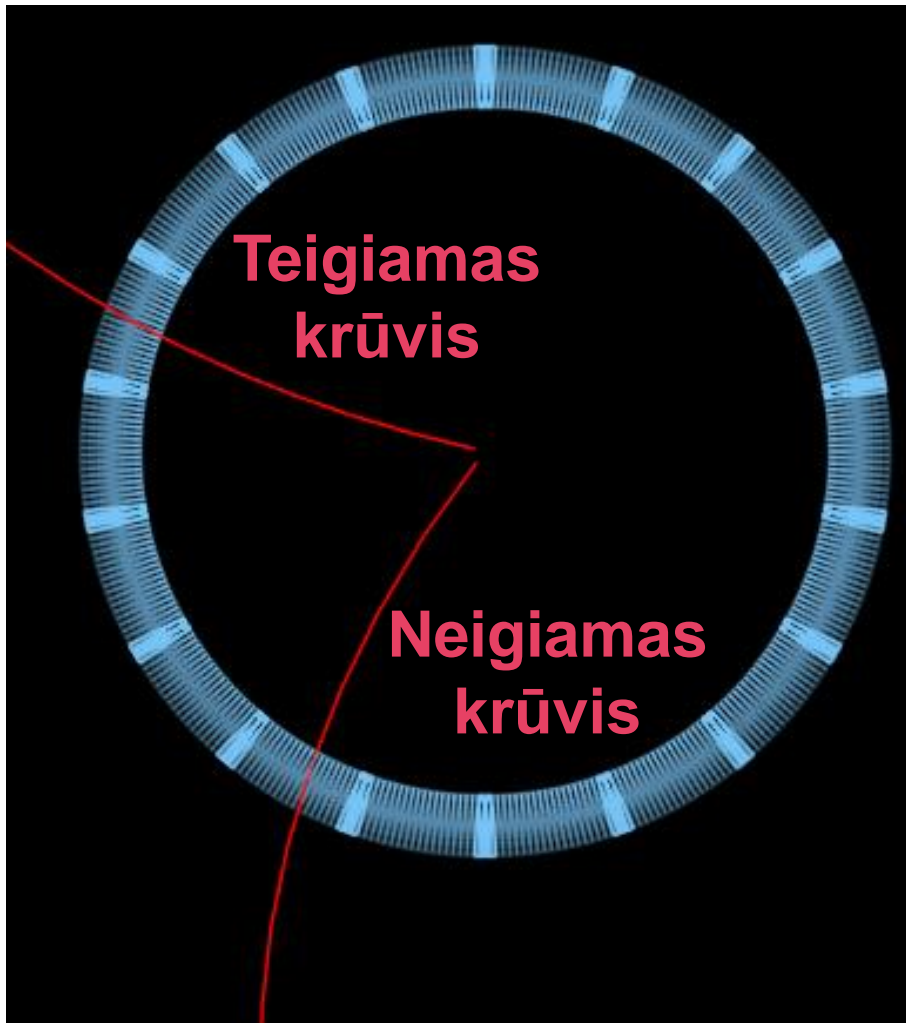
- Skersinio impulso trūkumas žymimas **violetine** brūkšnine linija
- Kuo linija ilgesnė, tuo trūkumas didesnis
- Pamačius pakankamai ilgą tokią liniją galima įtarti, kad ta kryptimi nulėkė neutrinas
- Į trumpą tokią liniją galima nekreipti dėmesio
- CIMA duomenų bazėje neutrinas žymimas graikiška raide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



- Fotonų pėdsakai vaizduojami **geltonai**;
- Ten, kur fotonas pataikė į elektromagnetinį kalorimetrą, turėtumėte matyti tokius pačius žalius stulpus, kaip ir pataikius elektronui;
- Jeigu **iSpy WebGL** „neapsisprendžia“, ar dalelė yra elektronas, ar fotonas (tą patį pėdsaką rodo tiek geltonai, tiek žaliai) – greičiau tai buvo elektronas.

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**.

iSpy WebGL apibendrinimas

Detektoriaus dalių ir įvykio informacijos rodymas

Įvykių reguliavimas

Vaizdo reguliavimas

Nebūtini

▼ HCAL ⓘ

- Barrel Rec. Hits [36]
- Forward Rec. Hits [1]

▼ Muon ⓘ

- Matching muon chambers [21]

▼ Physics ⓘ

- Vertices (Reco) [12]
- Tracker Muons (Reco) [2]
- Stand-alone Muons (Reco) [2]

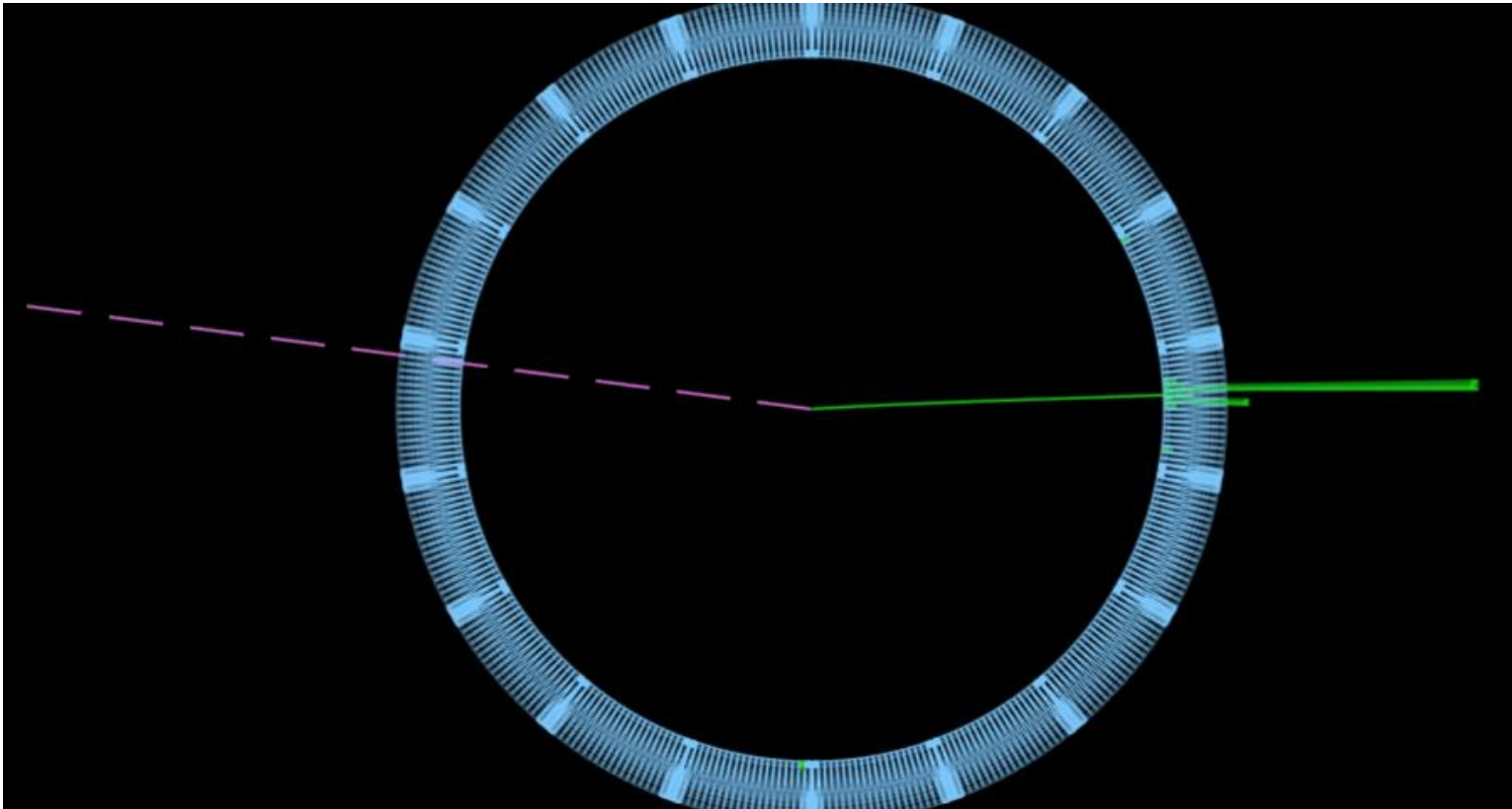
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2011-Apr-16 15:56:41.863687 GMT
Run / Event / LS: 162909 / 39914293 / 93

Vaizdas **sukiojamas** naudojant **kairįjį** pelės klavišą

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

Pavyzdys: W bozono įvykio kandidatas

- Matome elektrono pėdsaką ir trūkstamo skersinio impulso liniją
 - Turbūt 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

$e \nu$

$e e$

$4e$

$2e 2\mu$

$\mu \nu$

$\mu \mu$

4μ

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/c^2

Next

Pavyzdys: W bozono įvykio kandidatas

Veiksmų CIMA apibendrinimas:

1

Pasirenkame įvykio numerį

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-1

2

Pasirenkame stebėtas daleles

Final State

e ν $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

3

Pasirenkame, kokią įtariame pradinę dalelę

Primary State

Charged Particle:

W⁺ W⁻ W \pm

Neutral Particle (Z, H)

Zoo

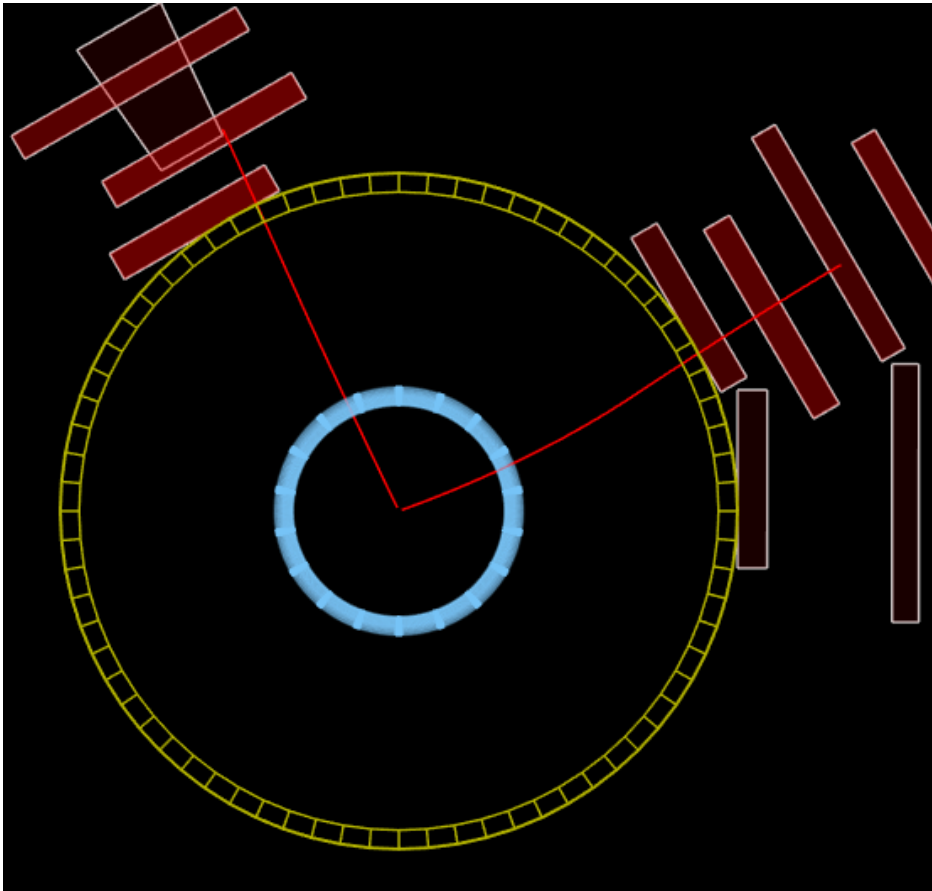
4

Spaudžiame „Next“

Enter Mass

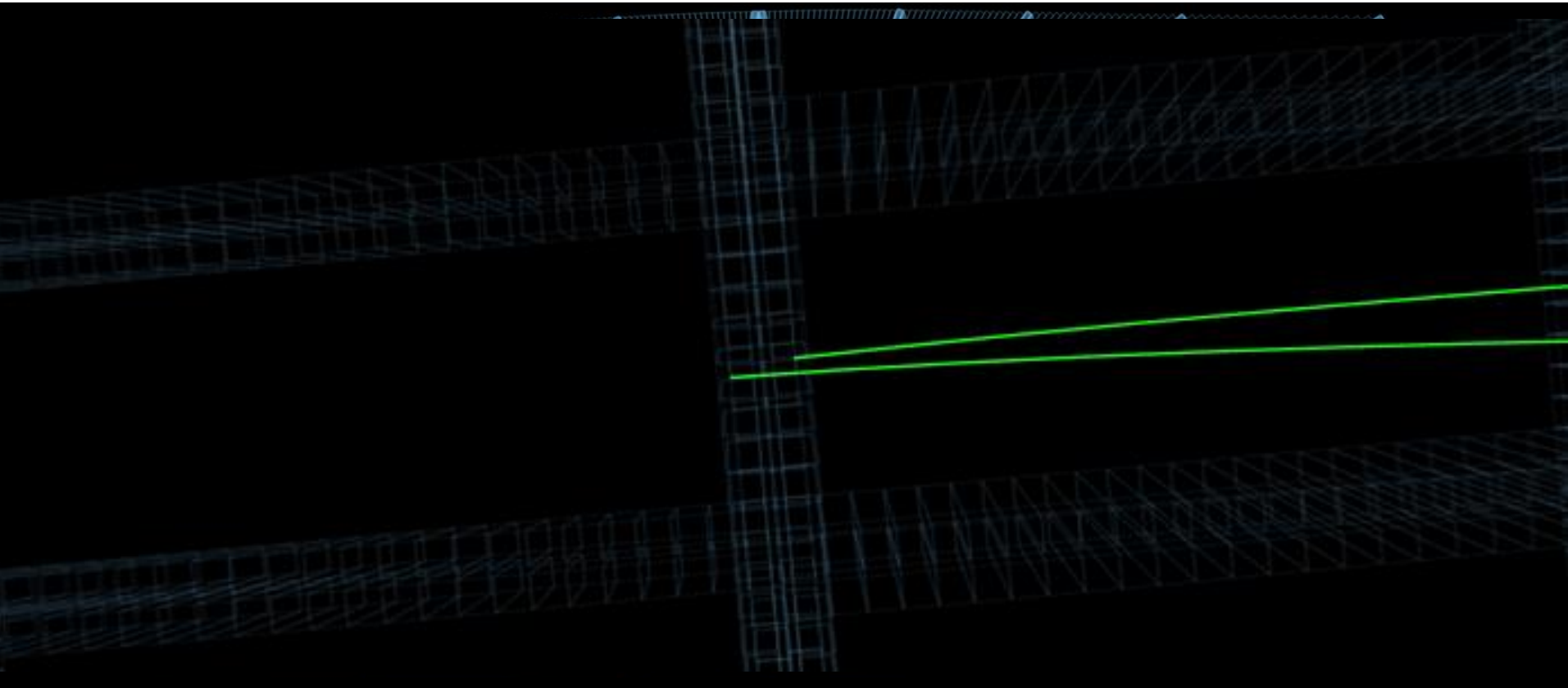
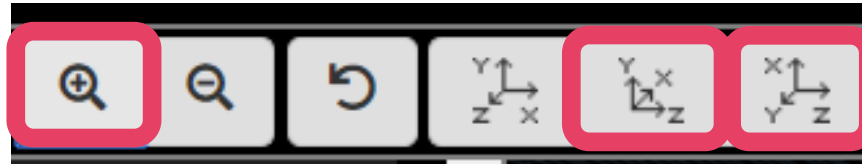
GeV/c²

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!

Pavyzdys: ne iš to paties taško išlekiančios dalelės



Kad pamatytume, ar dalelės išlėkė iš to paties taško, vaizdą gali tekti priartinti ir pasukti

Kas yra invariantinė masė?

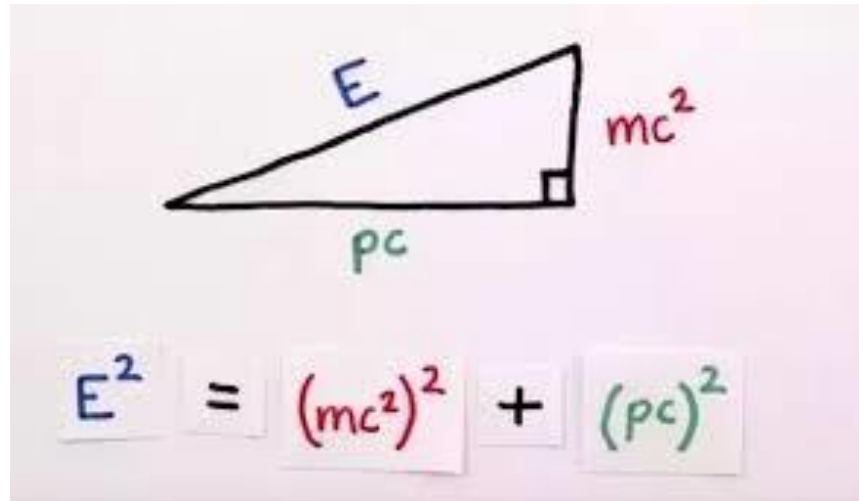
- **Invariantinė masė** – tai dalelės rimties masė

- 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:

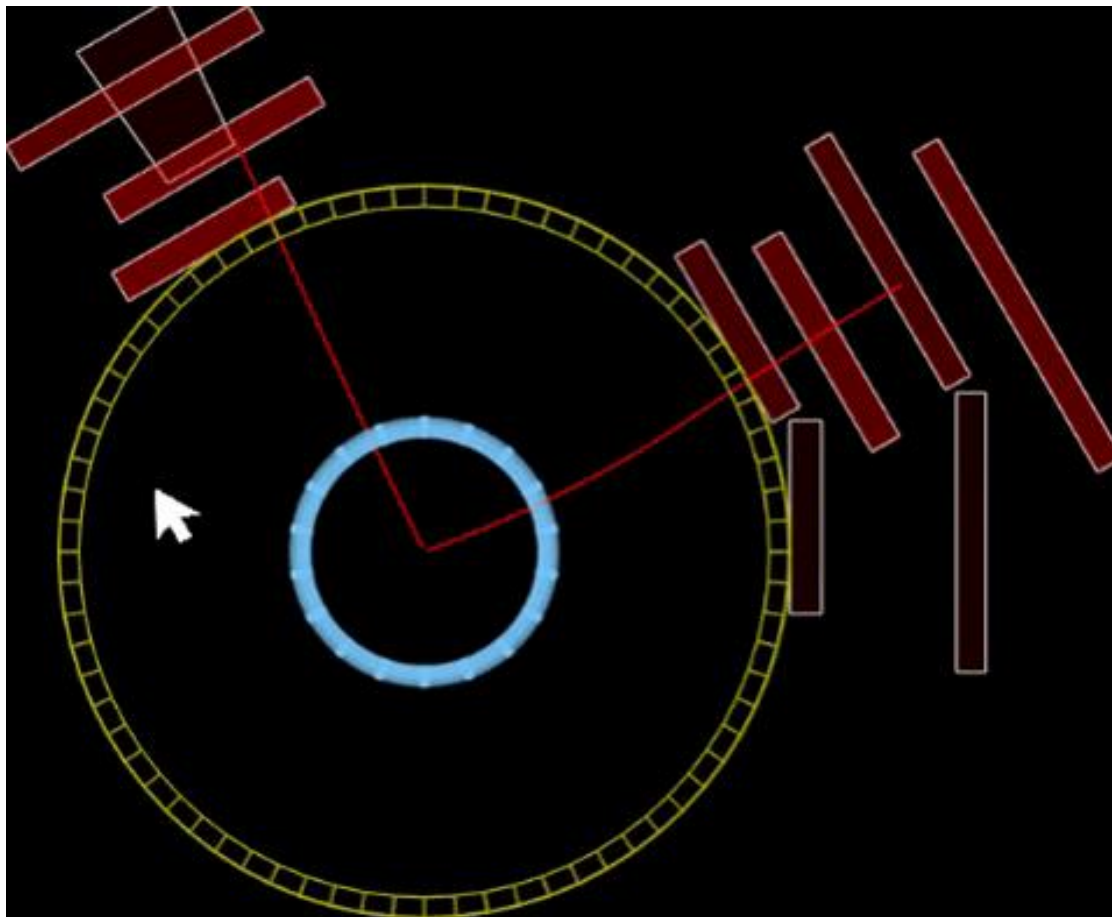
$$m_{12}^2 c^4 = (E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2 c^2$$

- 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 WebGL** 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 v

e e

4e

2e 2μ

μ ν

μ μ

4μ

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

Next

5
Spaudžiame
„Next“

Pavyzdys: Z bozono įvykio kandidatas

Veiksmų CIMA apibendrinimas:

1

Pasirenkame įvykio numerį

2

Pasirenkame stebėtas daleles

3

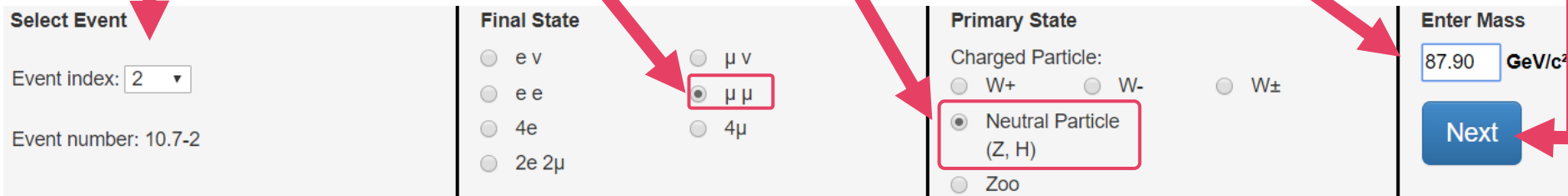
Pasirenkame „Neutral Particle (Z, H)“

4

Įvedame invariantinę masę

5

Spaudžiame „Next“



Select Event
Event index:
Event number: 10.7-2

Final State
 e v
 e e
 4e
 2e 2μ
 μ ν
 μ μ
 4μ

Primary State
Charged Particle:
 W+ W- W±
 Neutral Particle (Z, H)
 Zoo

Enter Mass
 GeV/c²

Pavyzdys: Higso bozono įvykio kandidatas

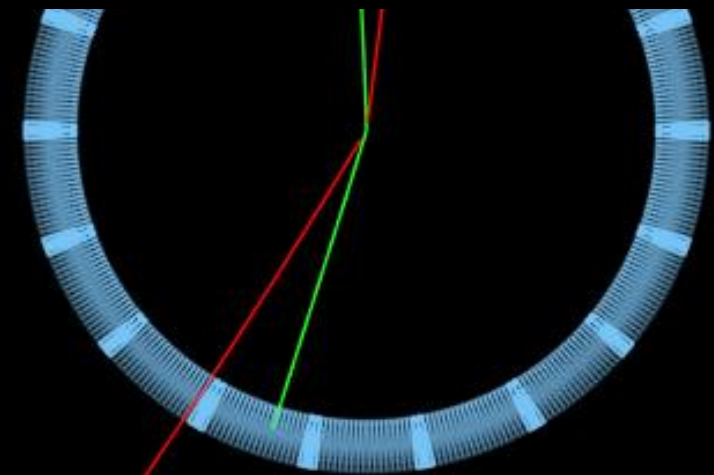
- Matome keturių leptonų pėdsakus
 - Ar tai yra dvi dalelės-antidalelės poros?
- Jei taip – galbūt čia skilo du Z bozonai!
- Du Z bozonai gali atsirasti Higso bozono skilimo metu
 - Galbūt aptikome Higso bozoną!
- Ar panašu, kad visos keturios dalelės išlėkė iš to paties taško?
- Pabandykime pamatuoti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

Invariant mass



140.38 GeV

Close



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 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: Higso 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“

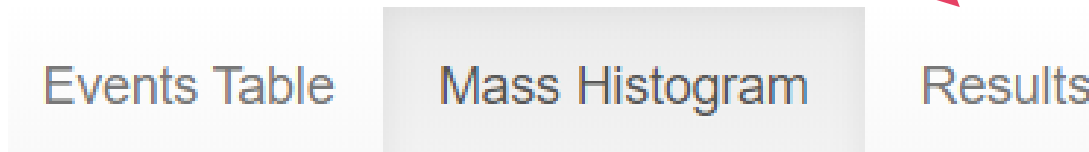
The screenshot shows the CIMA software interface with five steps highlighted by red arrows:

- Step 1:** "Select Event" section. "Event index: 3" is selected in a dropdown menu. "Event number: 10.7-3" is displayed below.
- Step 2:** "Final State" section. Radio buttons for "e ν", "e e", "4e", and "2e 2μ" are shown. "2e 2μ" is selected and highlighted with a red box.
- Step 3:** "Primary State" section. Radio buttons for "μ ν", "μ μ", "4μ", "Neutral Particle (Z, H)", and "Zoo" are shown. "Neutral Particle (Z, H)" is selected and highlighted with a red box.
- Step 4:** "Charged Particle" section. Radio buttons for "W+", "W-", "W±", and "Zoo" are shown. "W±" is selected.
- Step 5:** "Enter Mass" section. A text input field contains "140.38" and "GeV/c²" is to its right. A blue "Next" button is at the bottom.

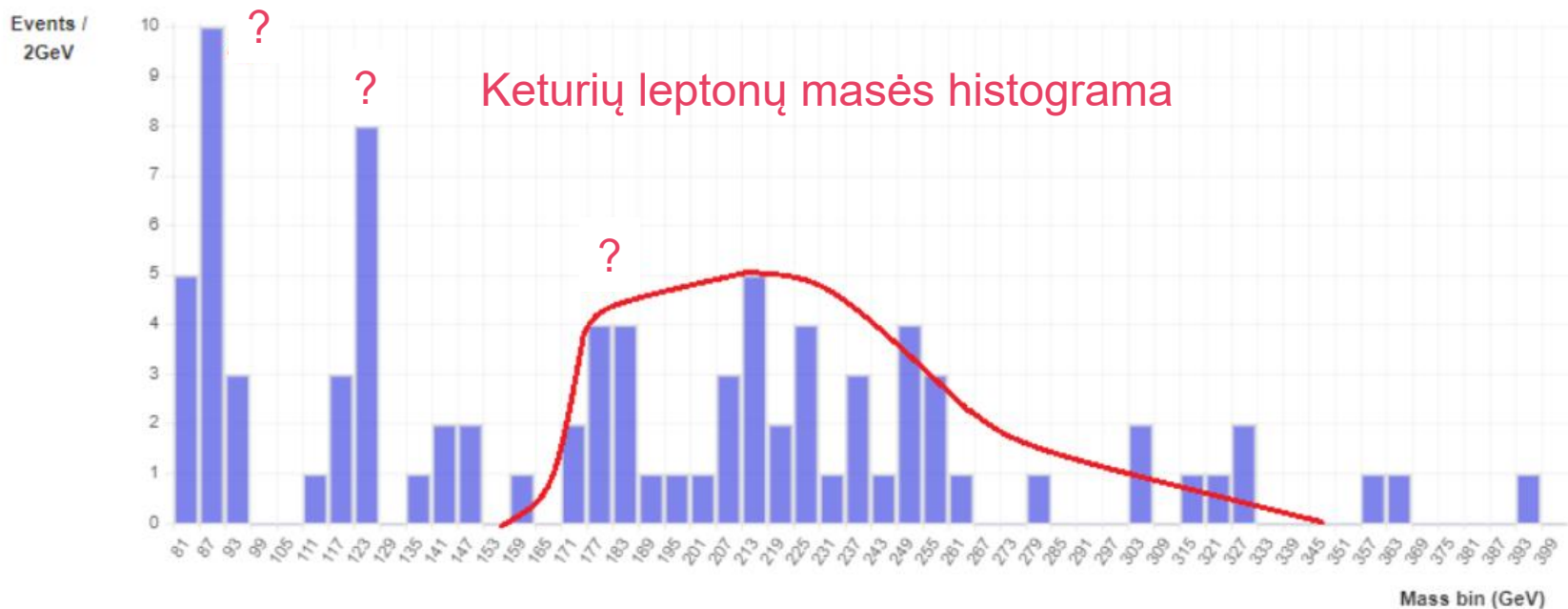
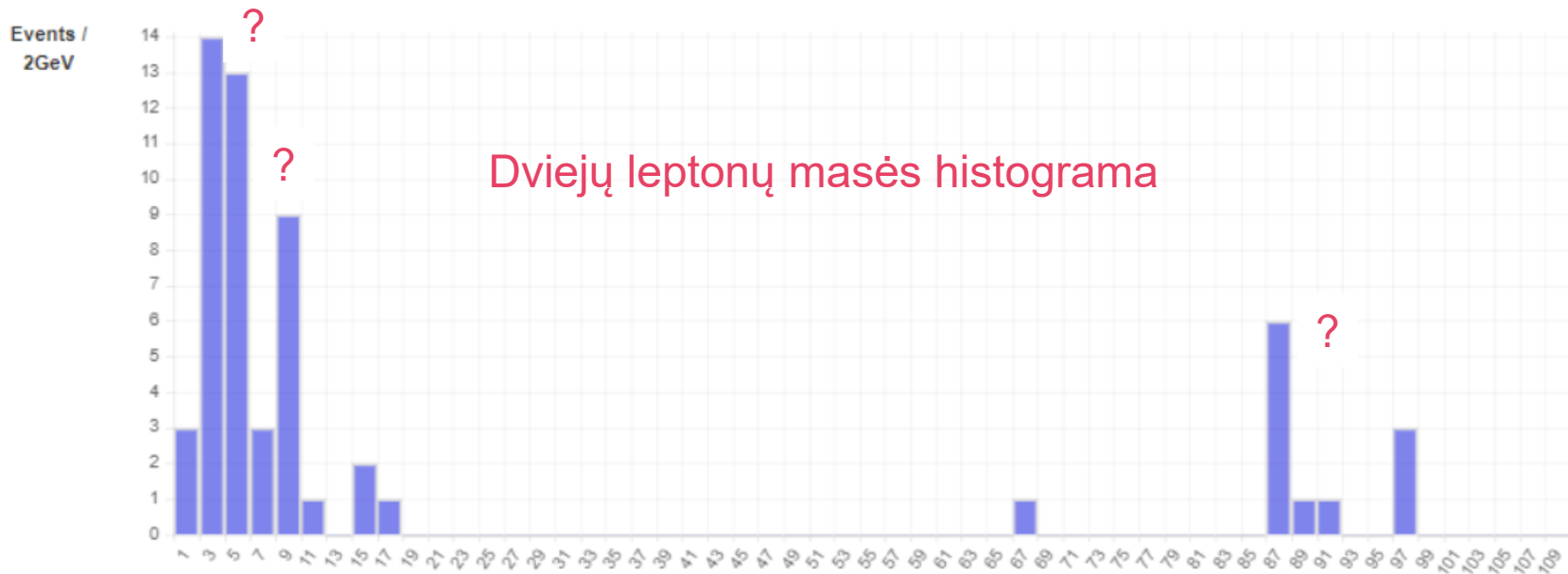
Ką darysime toliau?

Palyginsime visų grupių gautus rezultatus:

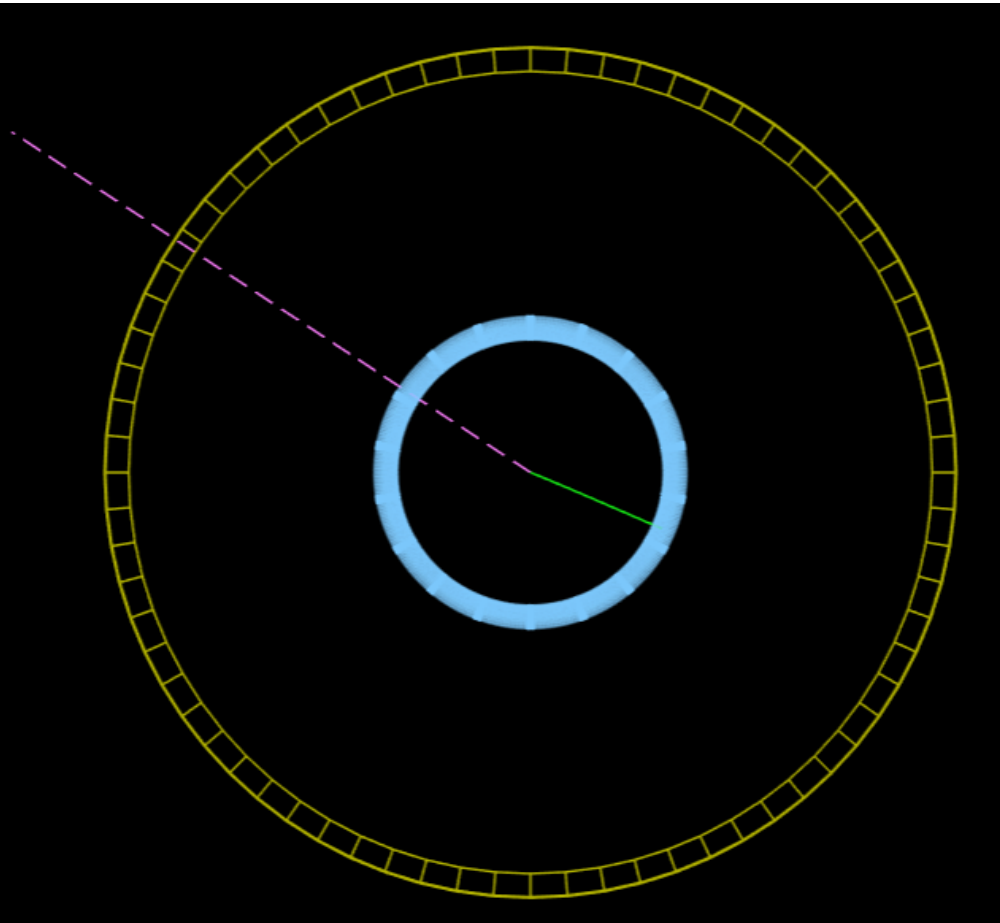
- Peržiūrėsime gautus **invariantinės masės pasiskirstymus**
- Palyginsime aptiktų elektronų ir miuonų skaičius;
- Palyginsime W^+ ir W^- skaičius;
 - Juos bus galima pamatyti paspaudus **čia**:



Kokių rezultatų galime tikėtis?



Kartu pabandykime atpažinti keletą pavyzdinių protonų susidūrimo įvykių.



- Ekeletronas 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
- e e
- 4e
- 2e 2 μ
- $\mu \nu$
- $\mu \mu$
- 4 μ

Elektronas (e) ir neutrinas (ν)

Primary State

Charged Particle:

- W⁺
- W⁻
- W[±]
- Neutral Particle (Z, H)
- Zoo

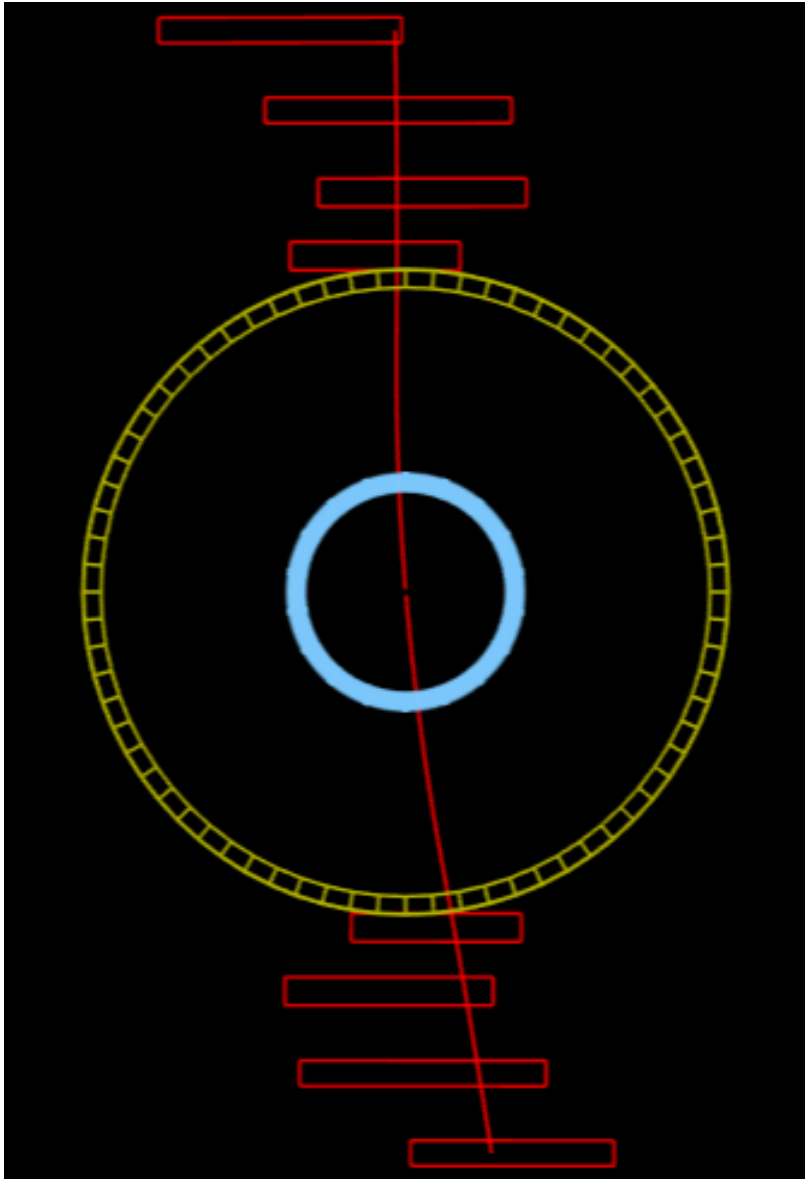
W⁺ bozonas

Enter Mass

GeV/c²

Next

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 v μ ν

e e μ μ

4e 4 μ

2e 2 μ

Miuonas-antimiuonas ($\mu\mu$)

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W \pm

Neutral Particle
(Z, H)

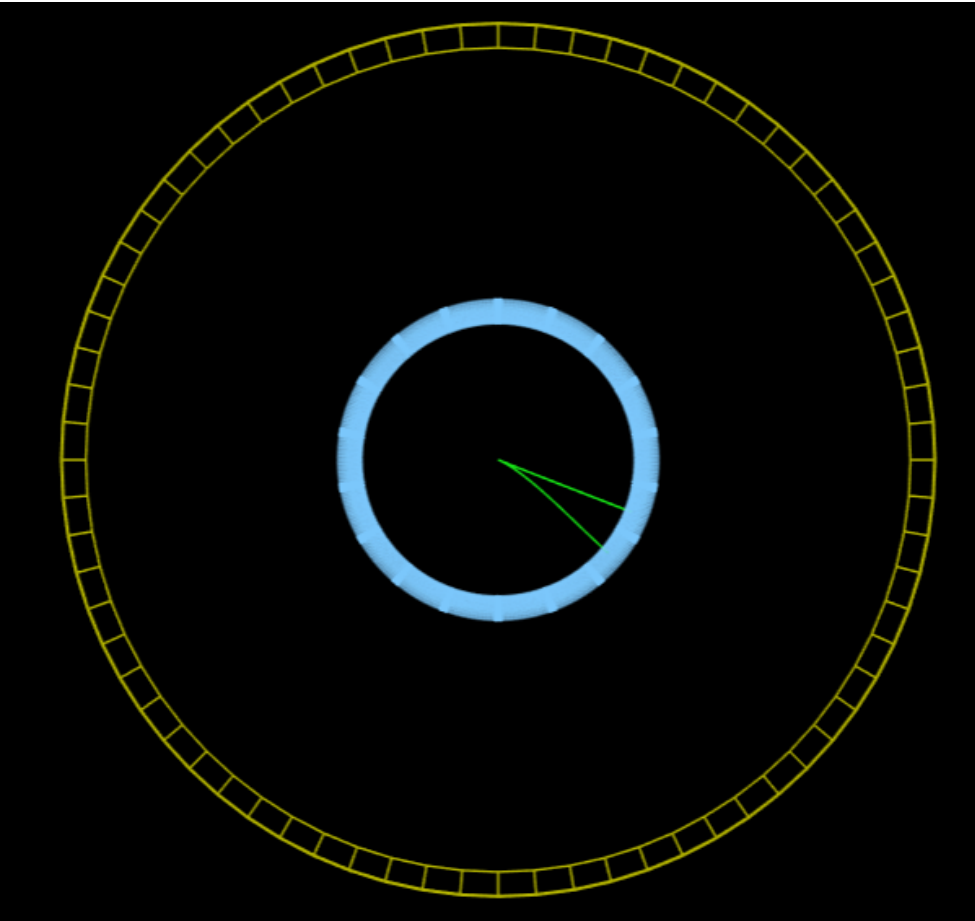
Zoo

Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

Įvedame apskaičiuotą masę ir spaudžiame „next“



- 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

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-3

Įvykis 3

Final State

$e\nu$ $\mu\nu$

ee $\mu\mu$

$4e$ 4μ

$2e2\mu$

Elektronas-pozitronas (ee)

Primary State

Charged Particle:

W^+ W^- W^\pm

Neutral Particle
(Z, H)

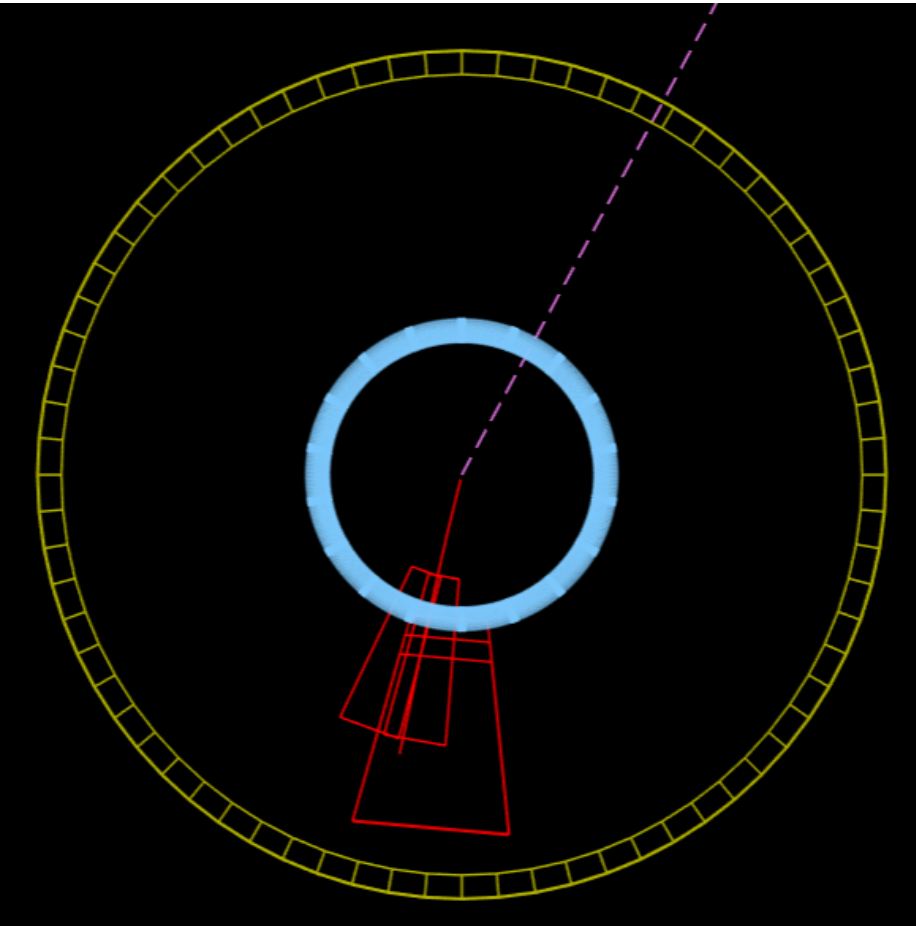
Zoo

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: 10.7-4

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)

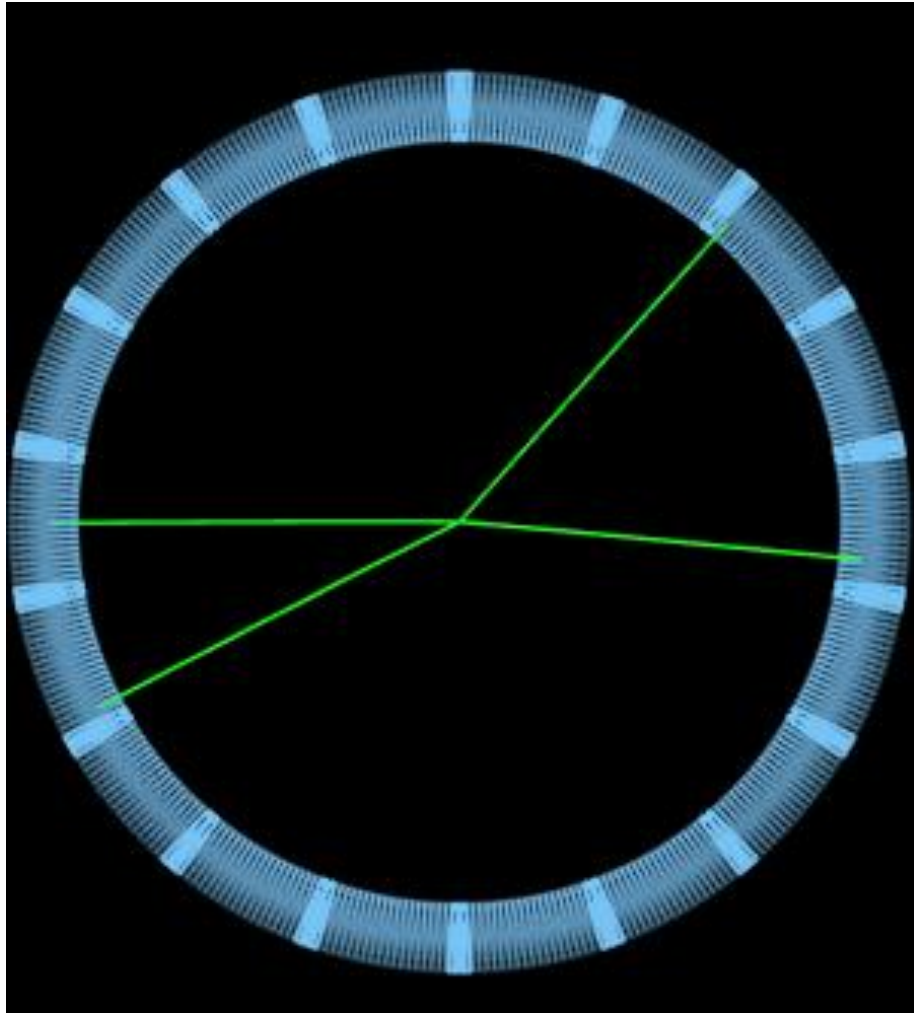
Zoo

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 ν $\mu \nu$

e e $\mu \mu$

4e 4 μ

2e 2 μ

Dvi elektrono-pozitrono poros (4e)

Primary State

Charged Particle:

W⁺ W⁻ W[±]

Neutral Particle
(Z, H)

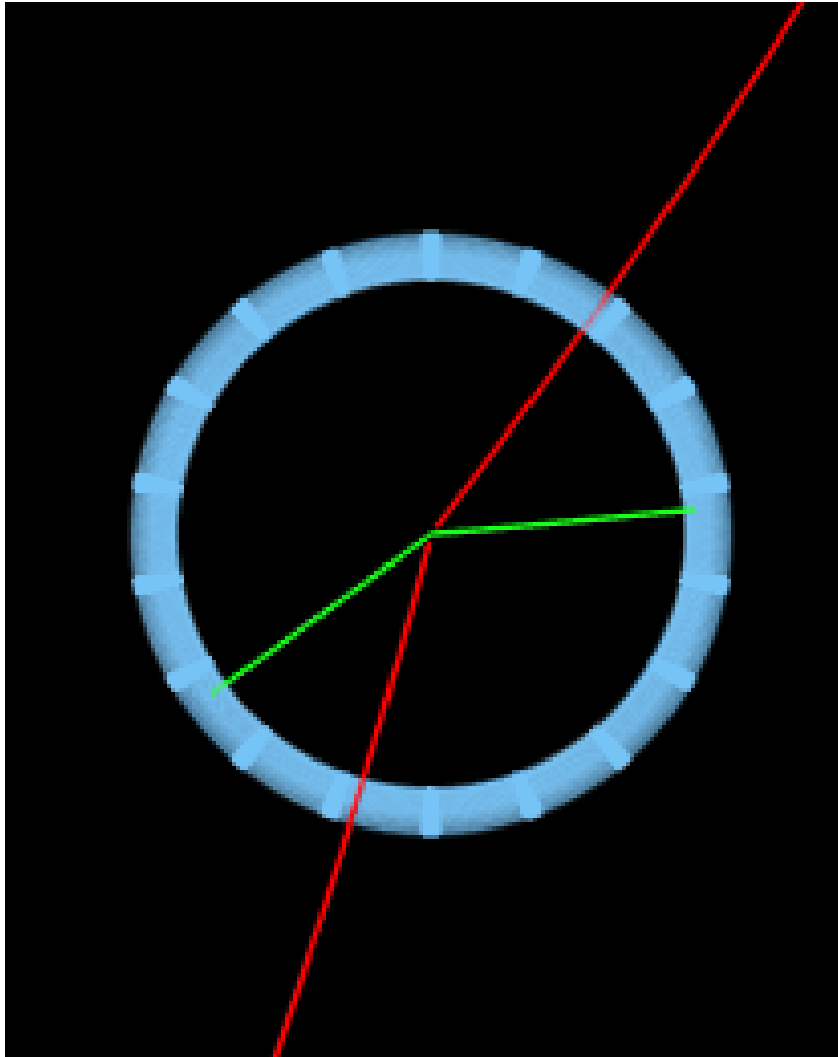
Zoo

Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

Įvedame apskaičiuotą keturių leptonų masę ir spaudžiame „next“



- 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

Select Event

Event index:

Event number: 10.7-6

Įvykis 6

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 checked="" type="radio"/> 2e 2 μ | |

Elektrono-pozitrono (2e) ir miuono-antimiuono (2 μ) poros

Primary State

Charged Particle:

- | | | |
|--|--------------------------|-------------------------------|
| <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 | | |

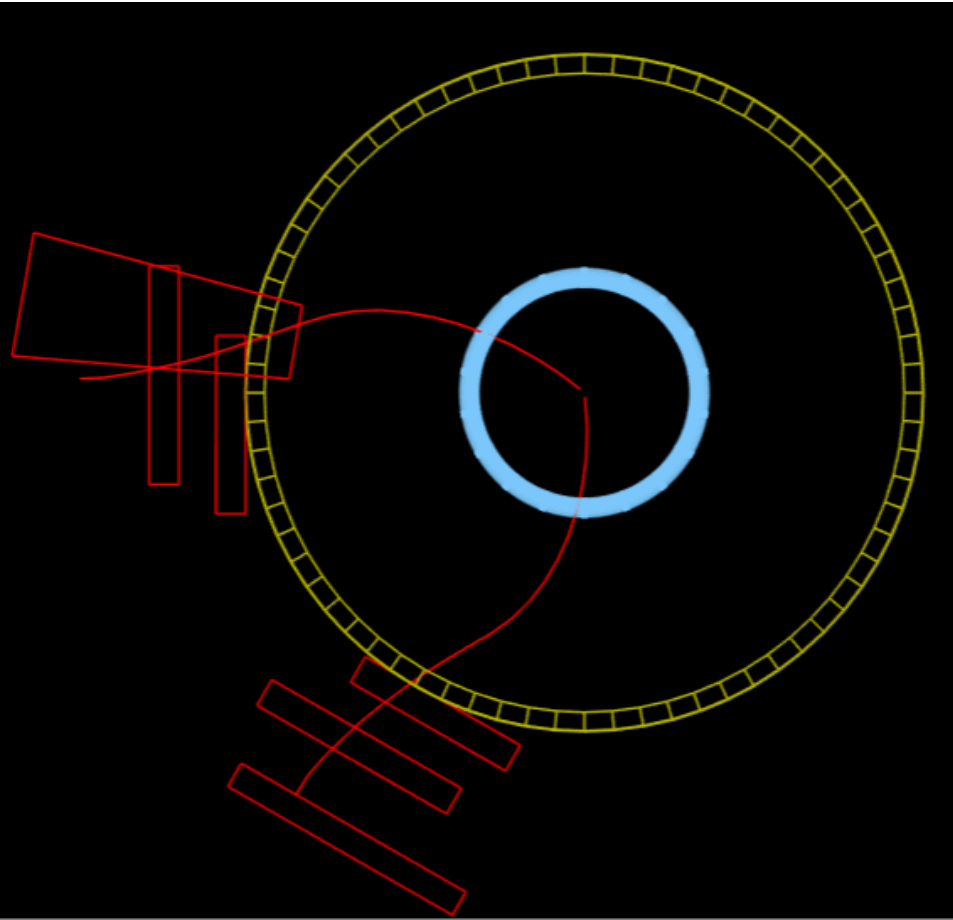
Neutrali dalelė

Enter Mass

GeV/c²

Next

Įvedame apskaičiuotą keturių leptonų masę ir 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: 10.7-7

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)

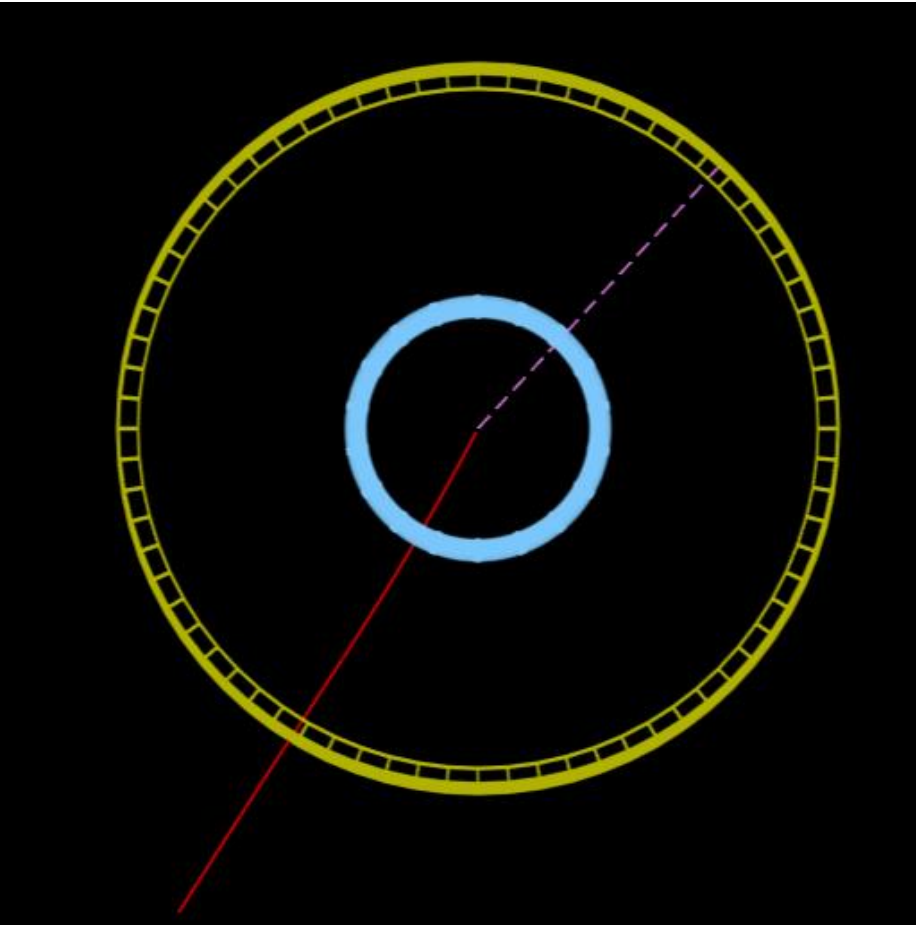
Zoo

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

- $e \nu$
- $e e$
- $4e$
- $2e 2\mu$
- $\mu \nu$
- $\mu \mu$
- 4μ

Miuonas (μ) ir neutrinas (ν)

Primary State

Charged Particle:

- W^+
- W^-
- W^\pm
- Neutral Particle
(Z, H)
- Zoo

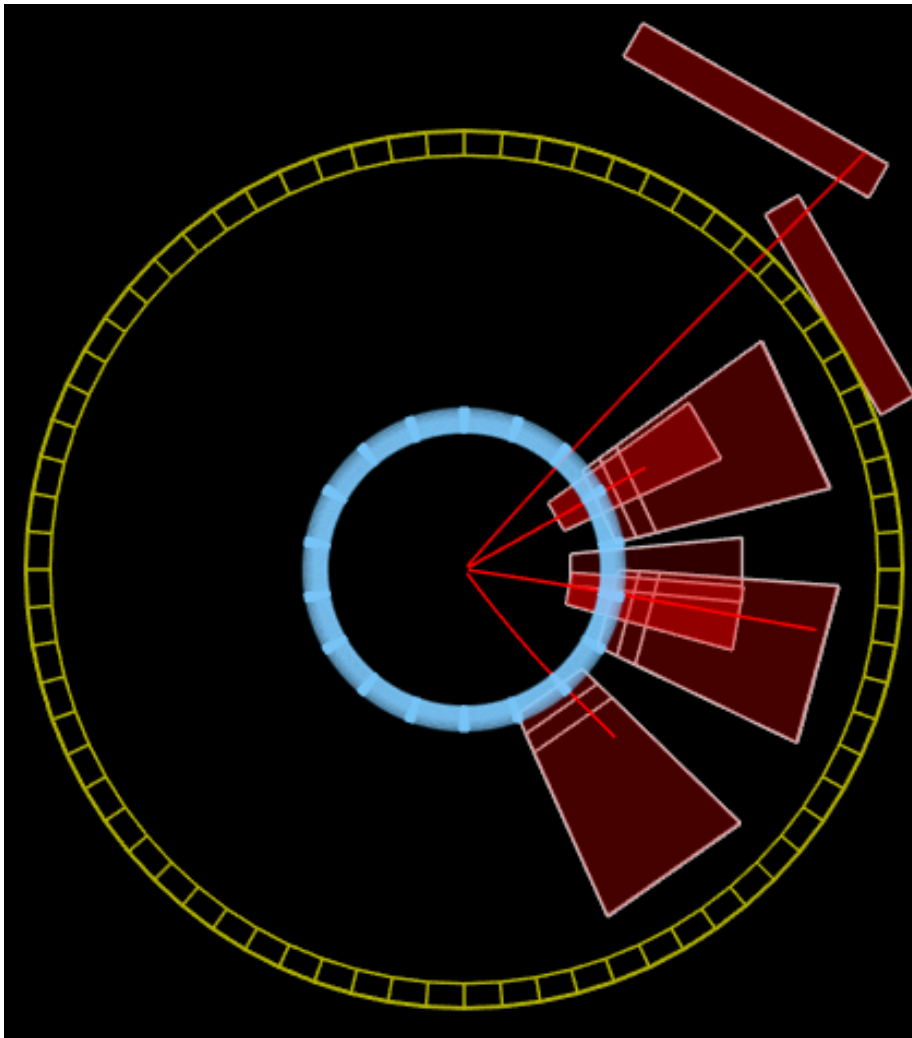
W^+ bozonas

Enter Mass

GeV/c^2

Next

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: 9 ▼

Event number: 10.7-9

Įvykis 9

Final State

- e ν
- e e
- 4e
- 2e 2μ
- μ ν
- μ μ
- 4μ

Dvi miuono-antimiuono poros (4μ)

Primary State

Charged Particle:

- W+
- W-
- W \pm
- Neutral Particle (Z, H)
- Zoo

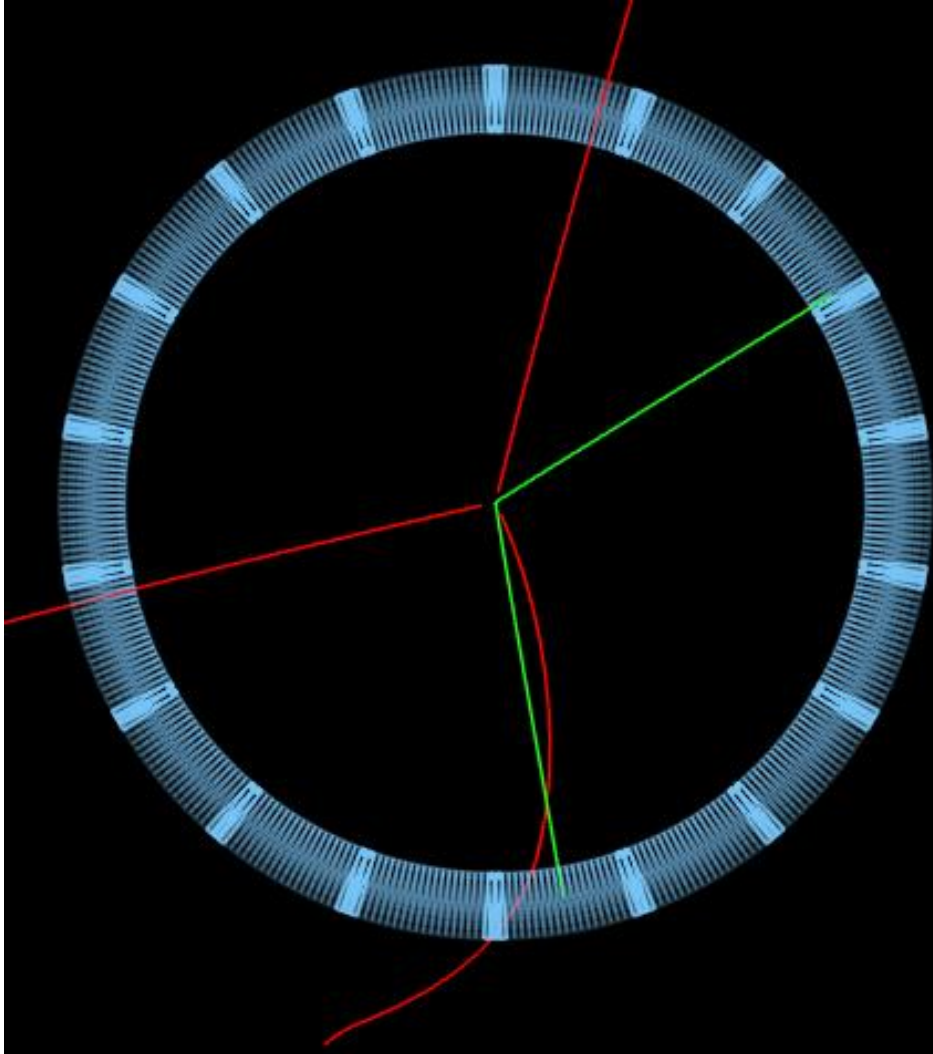
Neutrali dalelė

Enter Mass

138.19 GeV/c²

Next

Įvedame apskaičiuotą keturių leptonų masę ir spaudžiame „next“



- Du elektronai ir trys miuonai
- 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: 10 ▼

Event number: 10.7-10

Įvykis 10

Final State

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| <input type="radio"/> e ν | <input type="radio"/> μ ν |
| <input type="radio"/> e e | <input type="radio"/> μ μ |
| <input type="radio"/> 4e | <input type="radio"/> 4μ |
| <input type="radio"/> 2e 2μ | |

Nežymime jokios galutinės būsenos

Primary State

Charged Particle:

- | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| <input type="radio"/> W+ | <input type="radio"/> W- | <input type="radio"/> W± |
| <input type="radio"/> Neutral Particle
(Z, H) | | |

Zoo

Su mūsų tyrimu nesusijęs įvykis („Zoo“)

Enter Mass

GeV/c²

Next

Masės vesti nereikia, spaudžiame „next“

Žodis iSPY WebGL 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