

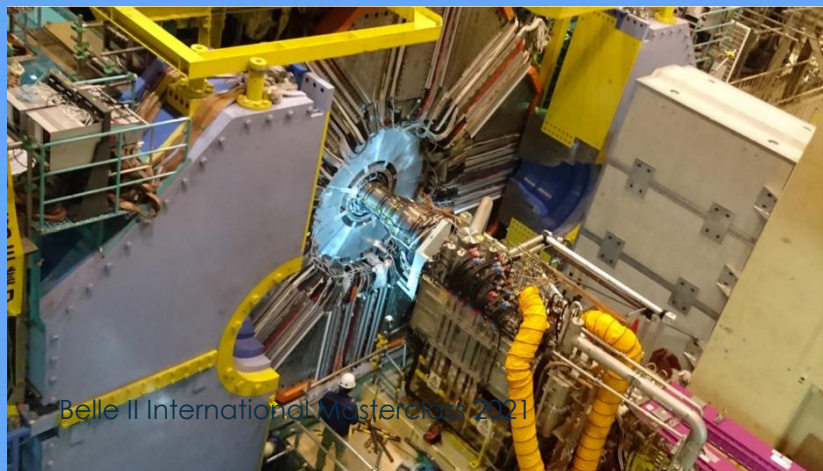
Rok Pestotnik, Institut Jožef Stefan, Ljubljana



Detektor Belle II se nahaja na interakcijski točki pospeševalnika SuperKEKB.

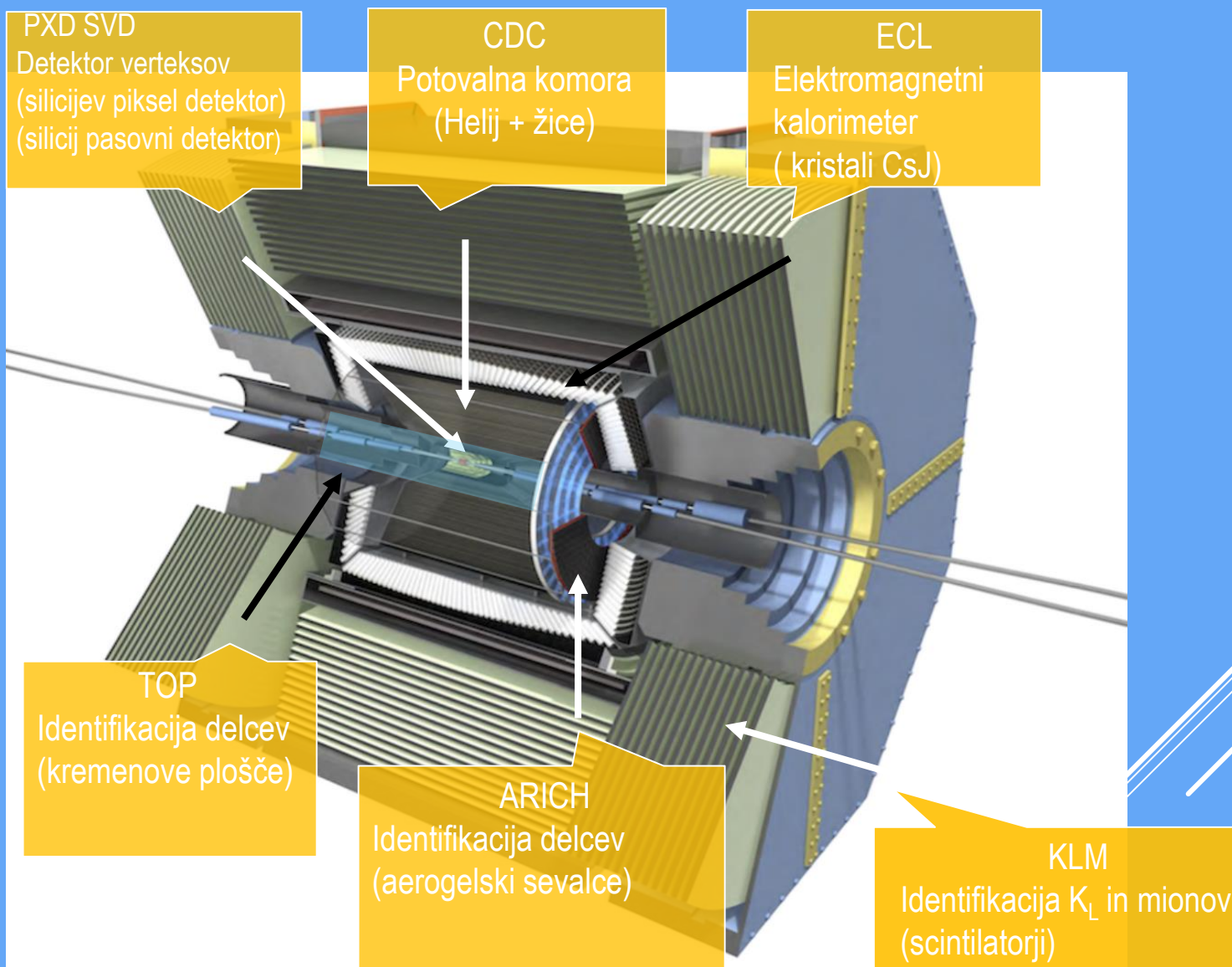
V krožnem pospeševalniku SuperKEKB z obsegom 3 km med sabo trkajo elektroni in pozitroni. Je naslednik pospeševalnika KEKB, ki je deloval od leta 1999 do leta 2010 in je proizvedel 1,5 milijarde parov mezonov B.

SuperKEKB se nahaja v laboratoriju KEK v Cukubi na Japonskem, približno 60 km od Tokia. Delovati je začel leta 2018 in bo do leta 2025 proizvedel 50 milijard parov mezonov B.

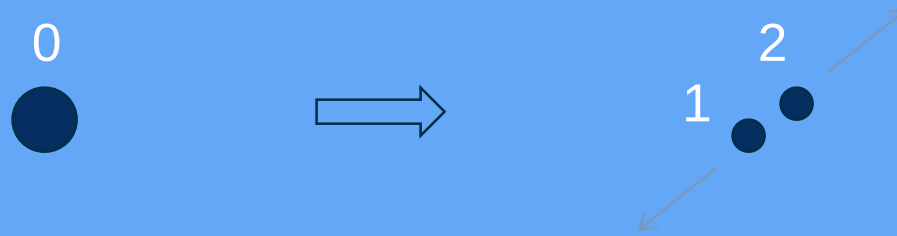


Z eksperimentom Belle II bomo zaradi znatnega povečanja velikosti vzorca in izboljšanim detektorjem izvedli meritve različnih parametrov Standardnega modela z izjemno natančnostjo. Odstopanja od pričakovanih vrednosti kažejo namreč na to, da za opis narave Standardni model ne zadošča.

Detektor Belle II



Invariantna masa



Vzemimo mirujoči delec 0, ki razpade v dva delca 1 in 2.

Del mase m_0 spremenili v m_1 in m_2 in del v energijo.

Če poznamo identiteto (maso) in gibalno količino nastalih delcev 1, 2, lahko rekonstruiramo maso osnovnega delca m_0

$$mc^2 = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (p_1 + p_2)^2 c^2}$$

Prvotno maso imenujemo mirovna masa

<http://localhost/masterclass> <http://belle2.ijs.si/masterclass>

Belle II Masterclass: Describe process → Run analysis → Fit results → Save/load process locally

Run Analysis

Save Diagram

Load Diagram

Blocks

Iskanje delcev boste izvedli tako, da boste na polje postavili in med seboj povezali bloke, ki predstavljajo dele kode za analizo podatkov:

Znotraj "Blocks" najdemo:

Modri Blok , ki vam omogoča obdelavo dogodkov.

Izbirate lahko med dvema setoma podatkov:

Hadron-1, ki vsebuje 629.000 dogodkov in

Hadron-2, ki vsebuje 5.600.000 dogodkov

Izberete lahko število dogodkov za analizo

Obdelava okrog 10.000 dogodkov traja približno 1 sekundo.

Rjavi blok omogoča histogramiranje različnih količin (vas bo zanimala predvsem masa izbranih delcev)

Belle II Masterclass: Describe process → Run analysis → Fit results → Save/load process locally

Run Analysis

Save Diagram

Load Diagram

Blocks

Zeleni blok Combine Particles omogoča, da združite dva delca in izračunate invariantno maso osnovnega delca.

Izberete lahko, da med sabo združujete različne delce.

Izognete se lahko kombinacijam delca s sami sabo

Nastavite lahko najmanjša in največja invariantne mase delcev za naslednjo stopnjo analize.

Blok Select particle omogoča izbiro

vrste delcev iz podatkov (elektron, mion, kaon, proton, foton) in naboja delcev (-1, 0, +1, karkoli).



Rekonstrukcija invariantne mase

nevtralnega piona π^0 , ki razpade v dva fotona:

□ pričakovana invariantna masa je 0.135 GeV/c²

Run Analysis Interrupt Save Diagram Load Diagram

Particles
Analysis
Variables

1) Vstavite glavni blok Belle II Masterclass, kjer izberete 50.000 dogodkov

2) vstavite blok za izbiro kombinacije delcev Combine 2 Particles in nastavite interval mase med 0,001 in 1 (v enotah GeV/c²)

3) vstavite dva bloka za izbiro delcev Select Particles, izberite naboj 0 in kot delec «foton»

4) Vstavite blok za histogramiranje invariantne mase (npr. 400 kanalov in interval med 0 in 1)

5) Poženite analizo s pritiskom na "Run analysis"

Belle II Masterclass
Number of events: 50000
First event: 0
Data Source hadron-2
Print particle list? No
Particle List

Combine 2 particles

1. Particle

Select Particles

Particles

Charge 0

Type photon

Histogram

2. Particle

Select Particles

Particles

Charge 0

Type photon

Histogram

Same particle lists? No

Set identity to pion

Min mass [GeV/c²] : 0.001

Max mass [GeV/c²] : 1

Histogram

Histogram Title ppi Mass;GeV/c;N Number of bins 400 Min: 0 Max: 1 Variable mass

INVARIANTNA MASA COMBINACIJE DELCEV

$$mc^2 = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2 c^2}$$

Ctrl+Click na posamezni vrstici



Click na dva različna delca



Reconstructed particles of Event 26

N	px(GeV/c)	py(GeV/c)
1	0.0773758	0.972459
2	0.659583	-0.326957
3	0.223407	-0.680056
4	0.328163	-0.0625171
5	0.35006	-0.41387
6	-0.88167	0.0105236
7	-0.543176	0.575449
8	-0.0728633	0.107907
9	-0.629569	0.695791

Reconstructed particles of Event 27

N	px(GeV/c)	py(GeV/c)
1	1.58134	-1.13479
2	-0.670415	0.902964
3	-0.568484	0.553977
4	-0.474964	0.388314
5	-0.190492	0.482662

Particle properties

- momentum (px,py,pz) = (-0.543176 , 0.575449 , -0.307604) GeV/c
 - energy = 0.849 GeV/c²
 - charge = 0
 - identity = photon
-
- momentum = 0.849 GeV/c
 - transverse momentum = 0.79 GeV/c
 - polar angle theta = 111.24 deg.
 - cos(theta) = -0.362
 - invariant mass = NaN GeV/c²

Close

0.171981 0.546651 0.564187

Reconstructed particles of Event 26

N	px(GeV/c)	py(GeV/c)
1	0.0773758	0.972459
2	0.659583	-0.326957
3	0.223407	-0.680056
4	0.328163	-0.0625171
5	0.35006	-0.41387
6	-0.88167	0.0105236
7	-0.543176	0.575449
8	-0.0728633	0.107907
9	-0.629569	0.695791

Reconstructed particles of Event 27

N	px(GeV/c)	py(GeV/c)
1	1.58134	-1.13479

Particle properties combined from two particles

px [GeV/c]	py [GeV/c]	pz [GeV/c]	E [GeV/c ²]	charge	ID
-0.543176	0.575449	-0.307604	0.849	0	photon
0.35006	-0.41387	1.45082	1.54877	0	photon
-0.1931	0.1616	1.1432	2.3978	0	

Invariant mass = 2.0926 GeV/c²

Close

Charge

-1
1
1
-1
0
0
0
0
0

ID

pion
proton
pion
muon
photon
photon
photon
photon
pion

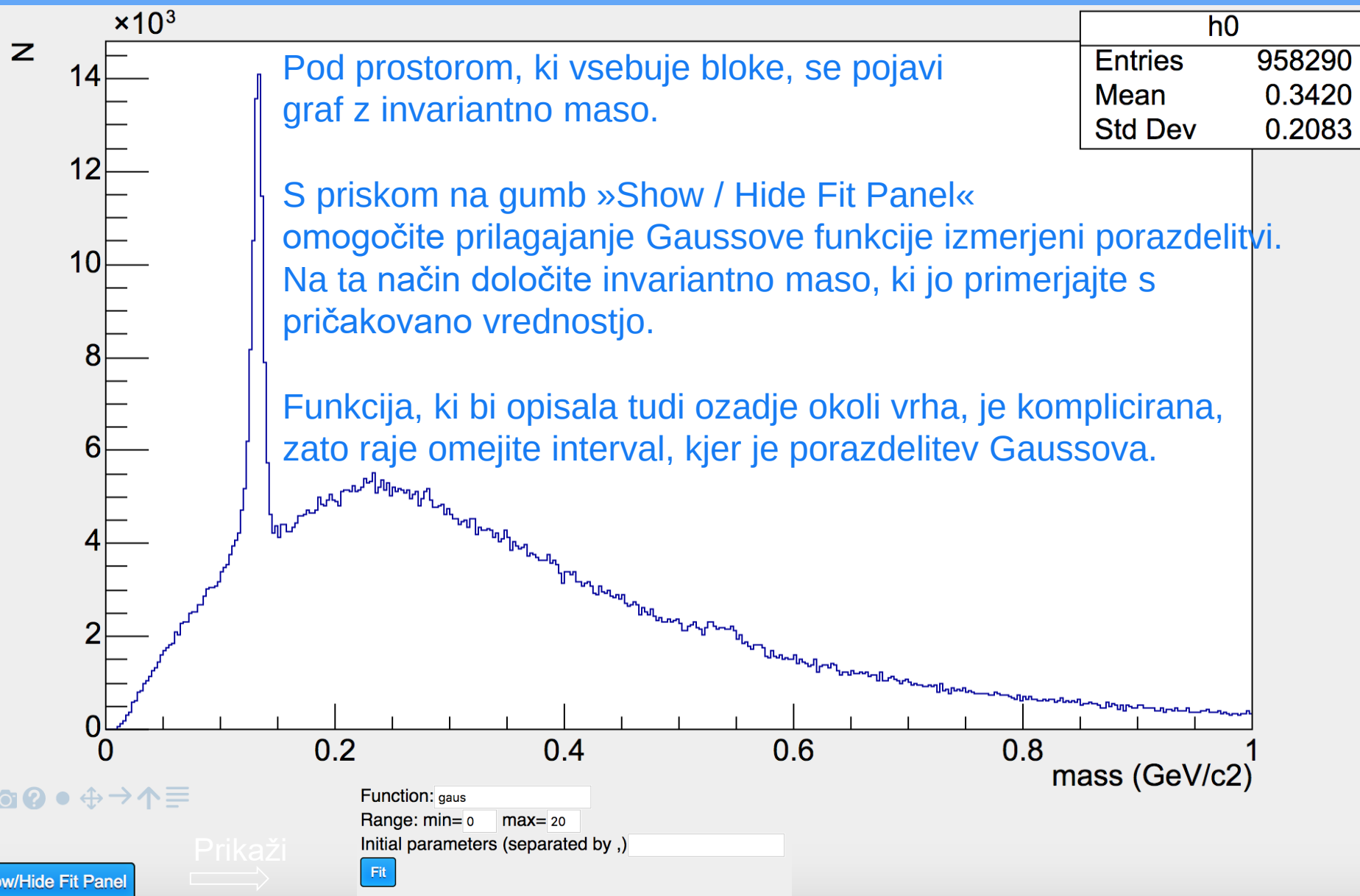
Charge

1

ID

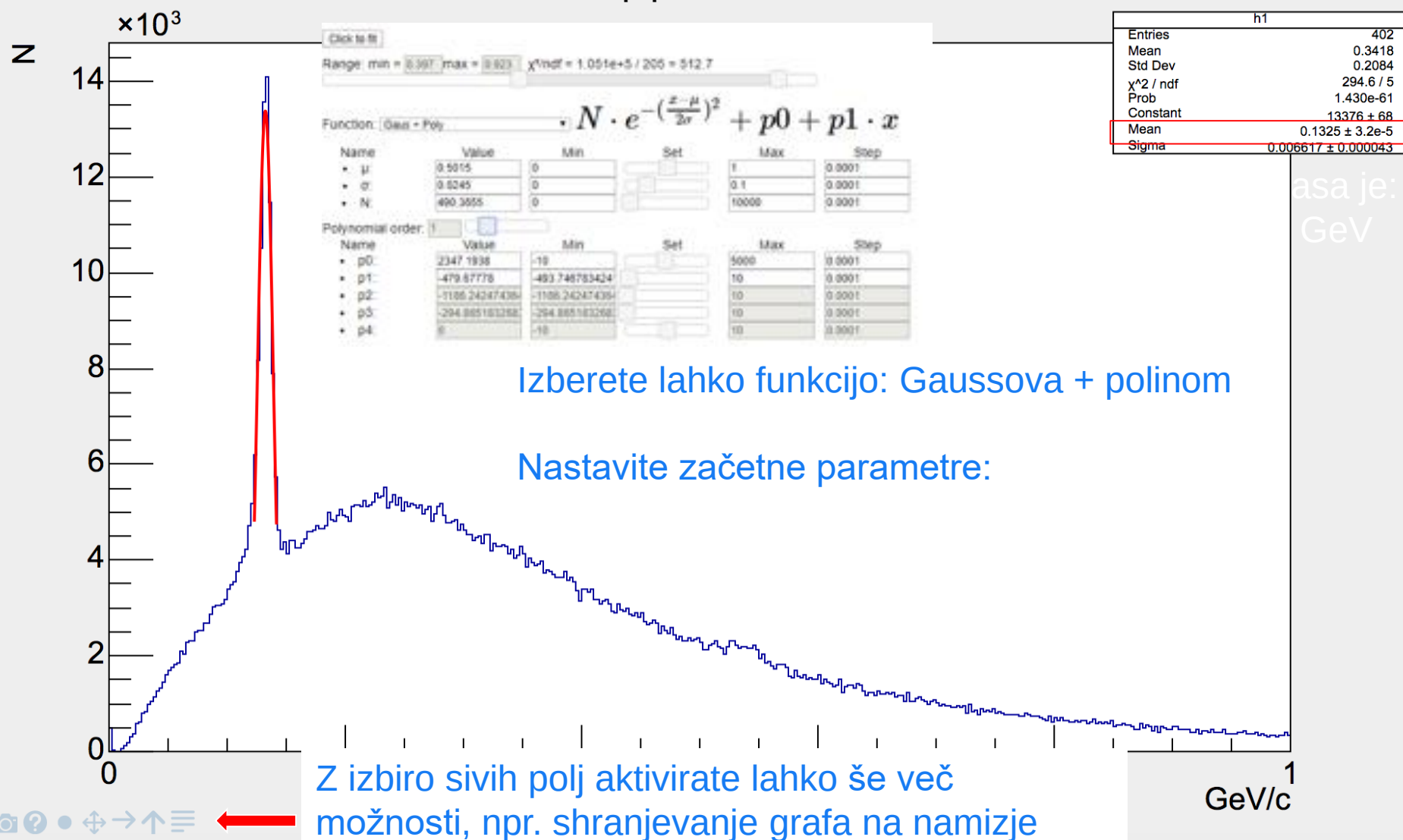
proton

Porazdelitev po invariantni masi



Prilagajanje modelske funkcije

izmerjeni porazdelitvi

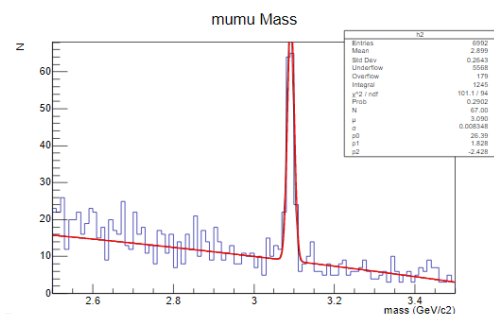


Izmerite invariantno maso za naslednje razpade:

Razpad	Pričakovana masa (GeV/c ²)	Število dogodkov
$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$	0.135	50 000
$K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$	0.497	500 000
$J/\Psi \rightarrow e^+ e^-$	3.01	5 000 000
$\rightarrow \mu^+ \mu^-$		5 000 000
$\Phi \rightarrow K^+ K^-$	1.02	5 000 000
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$	1.86	5 000 000
$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$	2.01	5 000 000

(za D^* potrebujete dva zaporedna razpada)

SHRANJEVANJE REZULTATOV



Show/Hide Fit Panel

To Process

Show/Hide Send result

Particle name:

K

Particle charge:

+

Mass [GeV/c2]:

3.14

Width [GeV/c2]:

0.0083

Events:

122

Submit your result

Za vsako invariantno mase, ki jo izmerite s prilagajanjem gaussove porazdelitve:

Shrani graf in podatke o delcu na svoj računalniški list (My worksheet), ko končaš pa pošlji na skupni server

Click to fit

Range: min = 2.5 max = 3.5 $\chi^2 / \text{ndf} = 101.1 / 94 = 1.076$

Function: Gaus + Poly $N \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} + p0 + p1 \cdot x + p2 \cdot x^2$

Name	Value	Min	Set	Max	Step
μ	3.0901	0		4	0.0001
σ	0.0083	0		1	0.0001
N	67.0032	0		10000	0.0001

Name	Value	Min	Set	Max	Step
p0	26.3899	-10		26.38994410	0.0001
p1	1.8278	-10		10	0.0001
p2	-2.4277	-10		10	0.0001

Belle II Masterclass Student worksheet

Send results to server

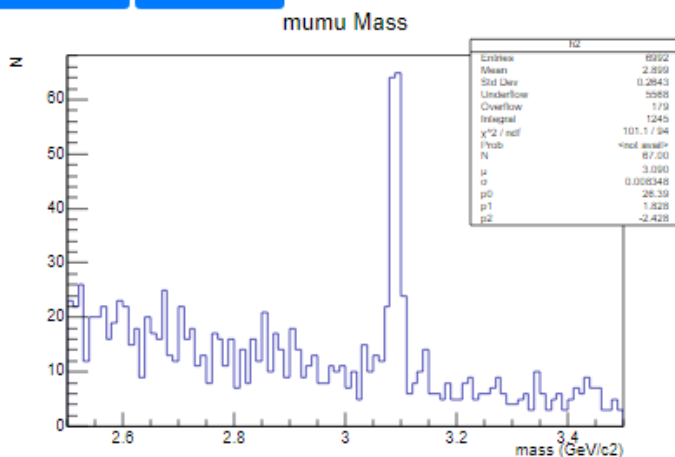
Clear worksheet

Close Window

mission: 0
particle: K
charge: +
mass: 3.14
width: 0.0083
events: 122

Show diagram

Delete this mission



Belle II Masterclass

Number of events: 1000000

First event: 0

Data Source: 0 to 1,000,000

Print particle list? [X]

Particle List

Combine 2 particles

Particle 1: Select Particles Sample
Particle: 0
Charge: 0
Type: muon
Histograms: [X]

Particle 2: Select Particles Sample
Particle: 0
Charge: 0
Type: muon
Histograms: [X]

Same particle list? [X]

Set identity to: 0 to 1,000,000

Min mass [GeV/c2]: 0
Max mass [GeV/c2]: 0

Histogram: Title [mumu Mass] Number of bins [100] Min: 0 Max: 3 Variable [mass]

Izpolnite tabelo

Delec	Ime delca	Kvarkovska sestava	Proces	Masa (GeV/c ²)	Število pregledanih dogodkov	Število zaznalih delcev	Širina vrha (GeV/c)
π^0		$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d})$	$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$				
Ks		$\frac{1}{\sqrt{2}}(d\bar{s} + \bar{d}s)$	$K_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$				
ϕ		$s\bar{s}$	$\phi \rightarrow K^+ K^-$				
J/ ψ		$c\bar{c}$	$J/\psi \rightarrow e^+ e^-$				
			$J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$				
D ⁰		$c\bar{u}$	$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$				
			$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$				
D ^{*+}			$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$				
D ^{*-}		$d\bar{c}$	$D^{*-} \rightarrow D^0 \pi^-$				
B ⁺		$u\bar{b}$	$B^+ \rightarrow J/\psi K^+$				
B ⁻		$\bar{u}b$	$B^- \rightarrow J/\psi K^-$				
Λ		uds	$\Lambda \rightarrow p \pi^-$				
Σ^+		uus	$\Sigma^+ \rightarrow p \pi^0$				