

Cząstki elementarne i oddziaływania

PROJEKT

MATTER ANTIMATTER DIFFERENCES

Agnieszka Obłąkowska-Mucha

<http://home.agh.edu.pl/~amucha/>
Katedra Oddziaływań i Detekcji Cząstek
D11 p. 106

LHCb collaboration (2017). Matter Antimatter Differences (B meson decays to three hadrons) - Data Files. CERN Open Data Portal.
DOI: [10.7483/OPENDATA.LHCb.AOF7.JH09](https://doi.org/10.7483/OPENDATA.LHCb.AOF7.JH09)



Plan analizy

- Wybieramy ciekawy proces fizyczny.
 - W LHCb przeważnie jest to rozpad mezonów i barionów zawierających kwark c lub b.
 - Wybieramy np. produkcję i rozpad mezonu B^\pm .
- Sprawdzamy w [Particle Data Group](#) sposoby rozpadu
- Szacujemy szanse obserwacji w spektrometrze LHCb (tryger)
- Przygotowujemy kryteria selekcji.
- Przeprowadzamy analizę.
- Publikujemy wynik.

BOTTOM MESONS

($B = \pm 1$)

$B^+ = u \bar{b}$, $B^0 = d \bar{b}$, $\bar{B}^0 = \bar{d} b$, $B^- = \bar{u} b$,
similarly for B^* 's

$$B^\pm \quad I(J^P) = 1/2(0^-)$$

Fraction (Γ_i / Γ)

▼ Inclusive modes

Γ_{37}	$D^0 X$	$(8.6 \pm 0.7)\%$
Γ_{38}	$\bar{D}^0 X$	$(79 \pm 4)\%$
Γ_{39}	$D^+ X$	$(2.5 \pm 0.5)\%$
Γ_{40}	$D^- X$	$(9.9 \pm 1.2)\%$
Γ_{41}	$D_s^+ X$	$(7.9^{+1.4}_{-1.3})\%$
Γ_{42}	$D_s^- X$	$(1.10^{+0.40}_{-0.32})\%$
Γ_{43}	$\Lambda_c^+ X$	$(2.1^{+0.9}_{-0.6})\%$
Γ_{44}	$\bar{\Lambda}_c X$	$(2.8^{+1.1}_{-0.9})\%$
Γ_{45}	$\bar{c} X$	$(97 \pm 4)\%$
Γ_{46}	$c X$	$(23.4^{+2.2}_{-1.8})\%$
Γ_{47}	$c \bar{c} X$	$(120 \pm 6)\%$

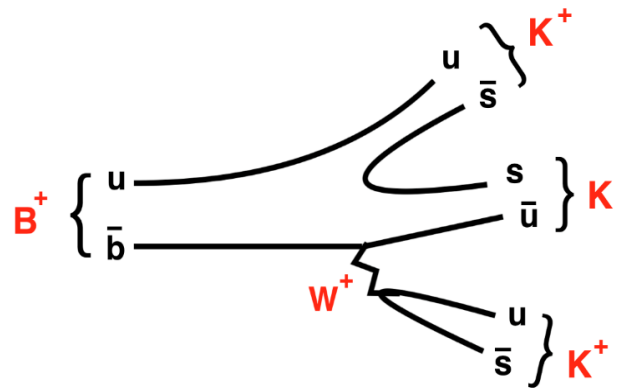
Rozpady mezonów pięknych

The B^+ and B^- mesons have a short average lifetime (10^{-12} s) and decay via the weak force into other particles..

The B^+ and B^- mesons are not observed directly in the detector, due to their short lifetime. Even travelling at close to the speed of light, and accounting for the effects of relativity, they only travel for a few mm in the detector before decaying. The charged kaons have long enough lifetimes (10^{-8} s) that do pass through the LHCb detector. We measure the properties of these kaons in the detector, for example determining their momentum and identifying them, and it is the measurements of these kaons we will use for the analysis.

$$B^+ \rightarrow K^+ K^- K^+$$

$$B^- \rightarrow K^+ K^- K^-$$



[LHCb Open Data](#)

Γ_{413}

$K^+ K^- K^+$

$(3.40 \pm 0.14) \times 10^{-5}$

Dlaczego ten rozpad jest stosunkowo rzadki?

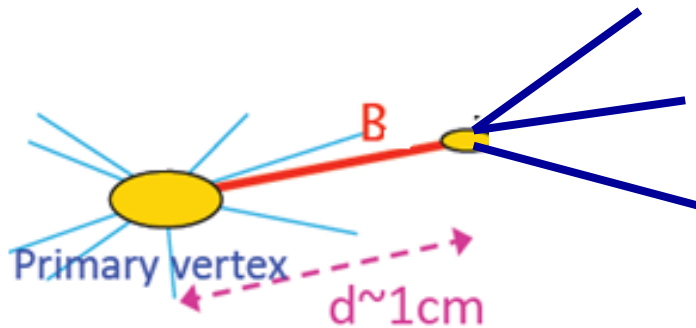
Jakich rozpadów mezonów B spodziewamy się najczęściej?

Rozpady mezonów pięknych

- Mezon B^\pm
 - może być wyprodukowany bezpośrednio w zderzeniach proton-proton,
- Znajdujemy parametry, które wybiorą z ogółu przypadków rozpad:
 $B^\pm \rightarrow K^+K^-K^\pm$.

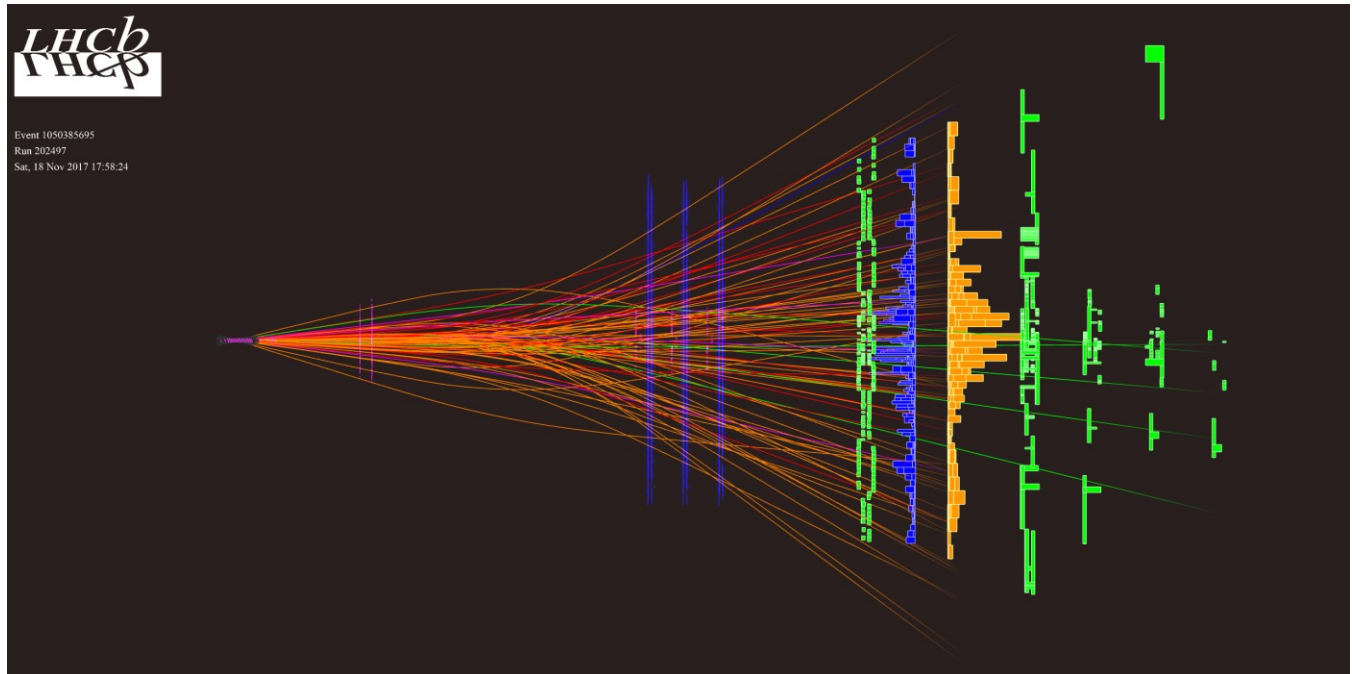
$$pp \rightarrow B^\pm + X$$

$$B^\pm \rightarrow K^+K^-K^\pm$$

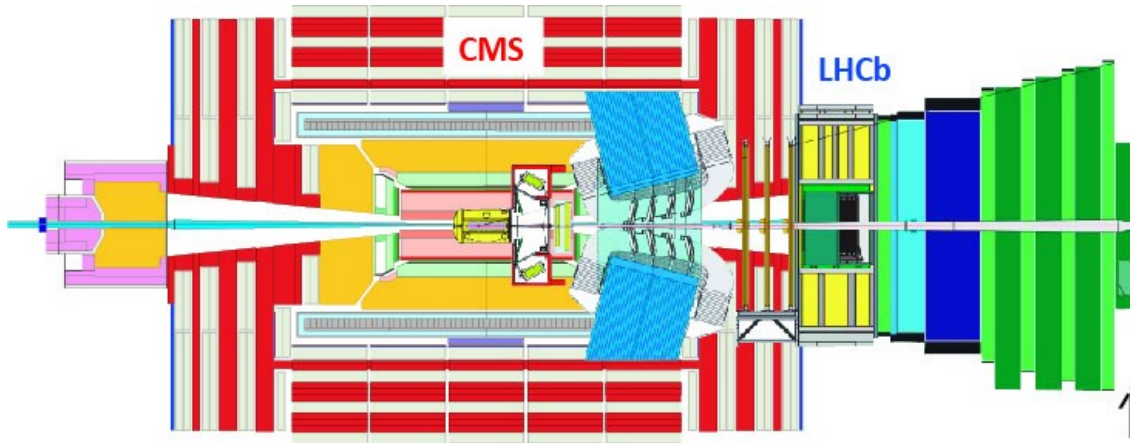


Rozpady mezonów pięknych

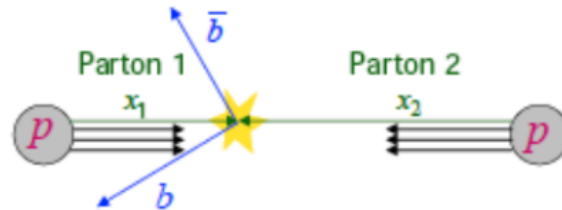
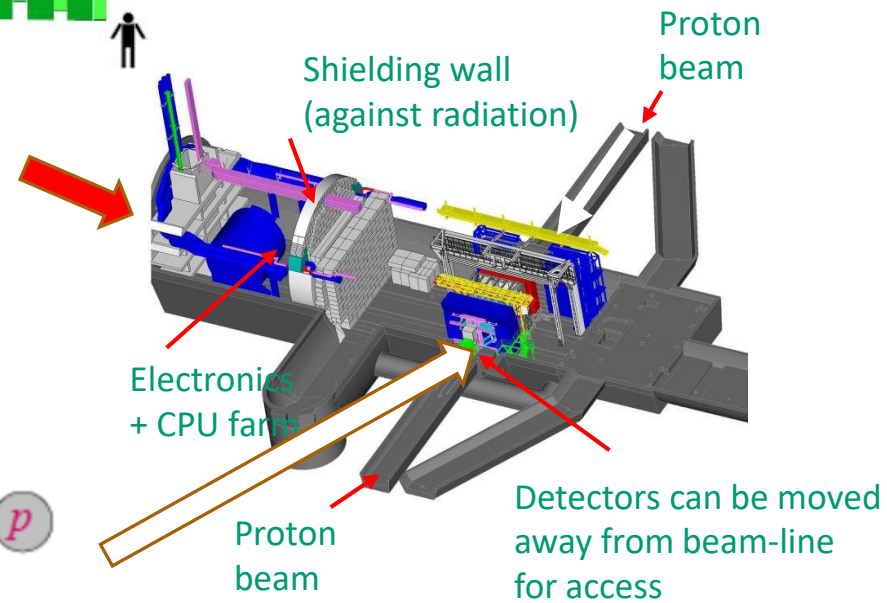
- Mezon B^\pm
 - może być wyprodukowany bezpośrednio w zderzeniach proton-proton,
- Znajdujemy parametry, które wybiorą z ogółu przypadków rozpad:
 $B^\pm \rightarrow K^+ K^- K^\pm$.



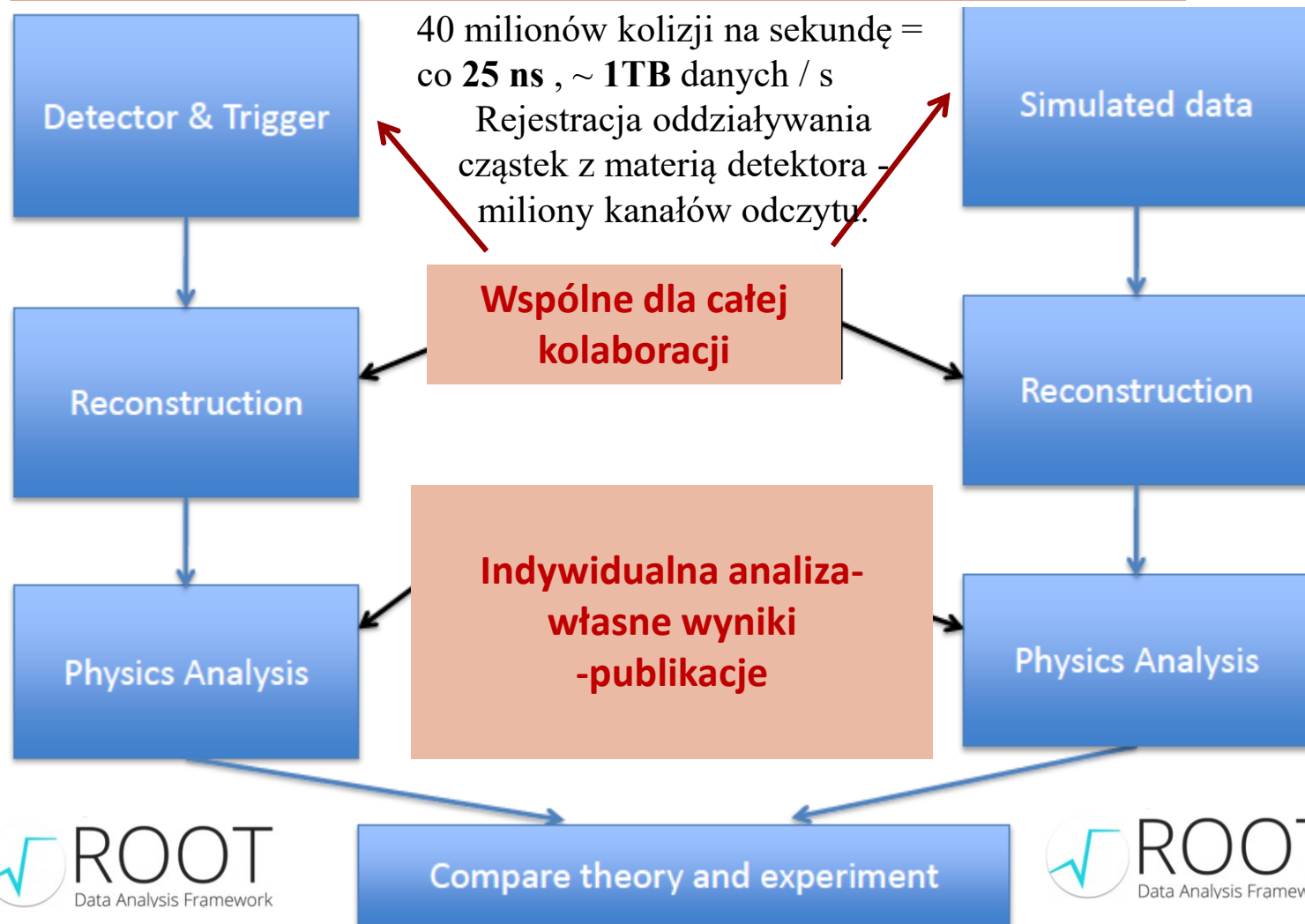
LHCb – geometria spektrometru



Cavern 100m below surface



Własna analiza

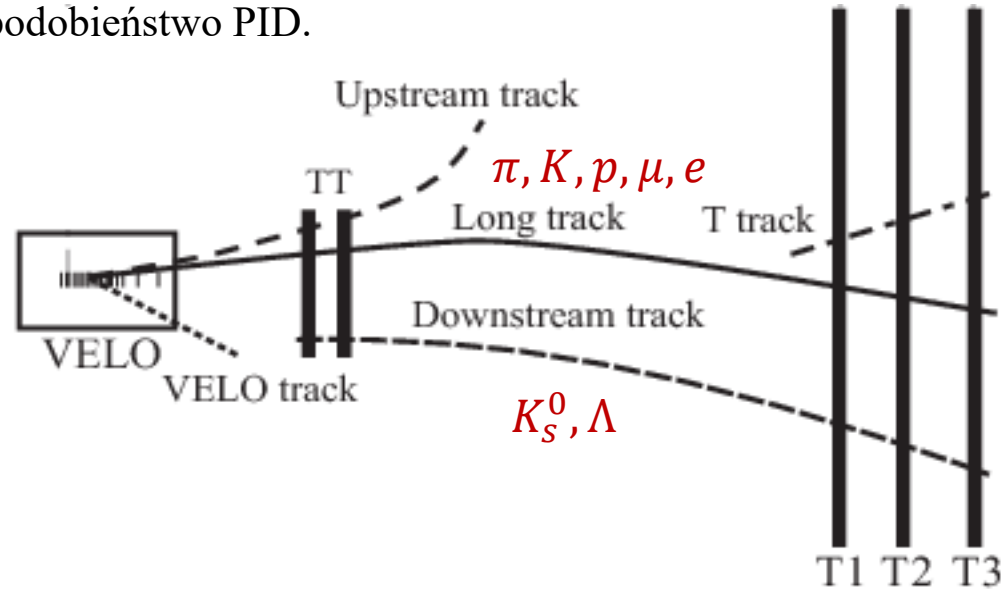


Parametry śladów

- Metodą **filtrów Kalmana** uzyskujemy parametry śladu. Dla konkretnego miejsca o współrzędnej „z”, wyznaczane są:
 - współrzędne x i y
 - nachylenia dx/dz, dy/dz
 - stosunek q/p (ładunku do pędu), czyli długość pędu i znak ładunku.
 - χ^2 dopasowania śladu
- Rekonstruowany jest punkt (wierzchołek) oddziaływania protonów (może ich być wiele) i punkty rozpadu cząstek wtórnych.
- Dla każdego śladu obliczane prawdopodobieństwo PID.

PROBLEMY:

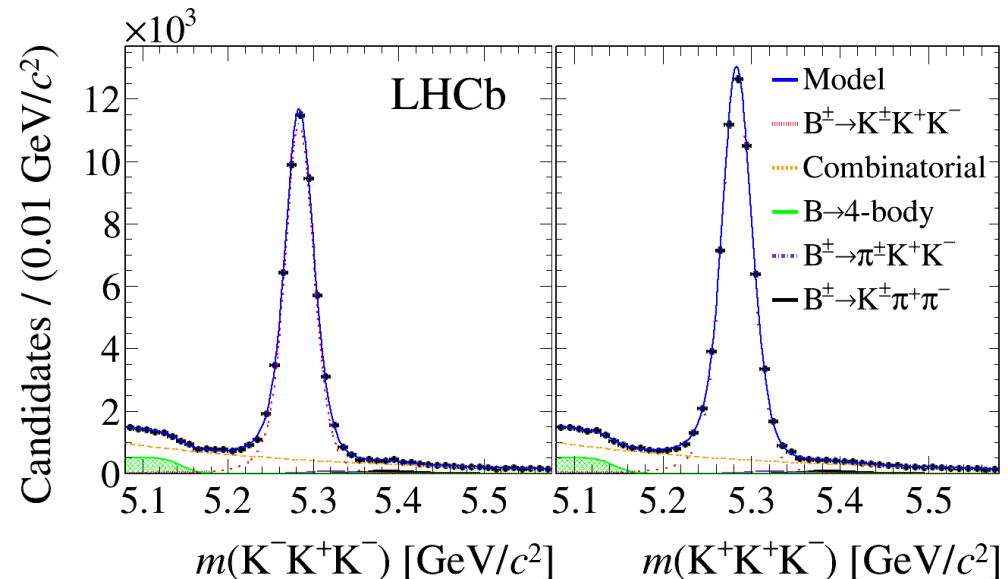
- Niektóre ślady zaczynają się poza VELO (K_S^0 , Λ).
- Do jednej cząstki przypisane jest kilka zrekonstruowanych śladów (duchy).
- Jedna cząstka rekonstruowana jest jako kilka śladów (klony).



Analiza fizyczna

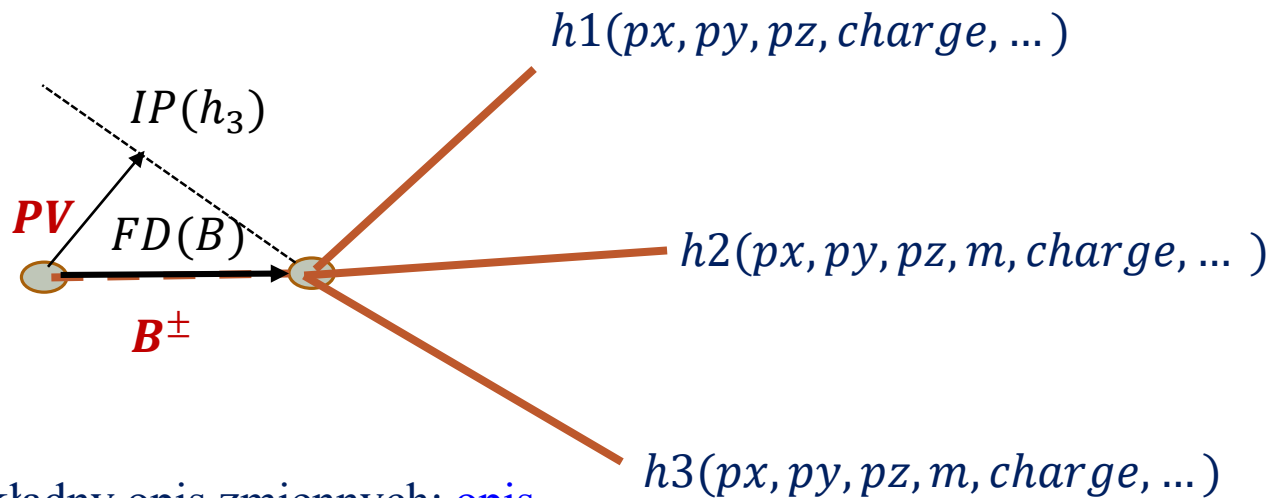
- Analizę przeprowadzimy na przygotowanym zbiorze danych rzeczywistych i MC.
- Zbiór z danymi ma strukturę Ntupla (n-krotki).
- Ntupel jest właściwie bazą danych, do której kierujemy zapytania, np:
 - narysuj pęd dodatnio naładowanej cząstki,
 - narysuj masę cząstek o pędach powyżej 1 GeV, itp.
- Zapytania piszemy w C++ (lub Pythonie) w architekturze ROOT.
- Efekt końcowy: rozkład masy (np.) z dopasowaniem.

Measurements of CP violation in the three-body phase space of charmless B^\pm decays
R. Aaij *et al.* (LHCb Collaboration)
[Phys. Rev. D **90**, 112004](#) – Published 11 December 2014

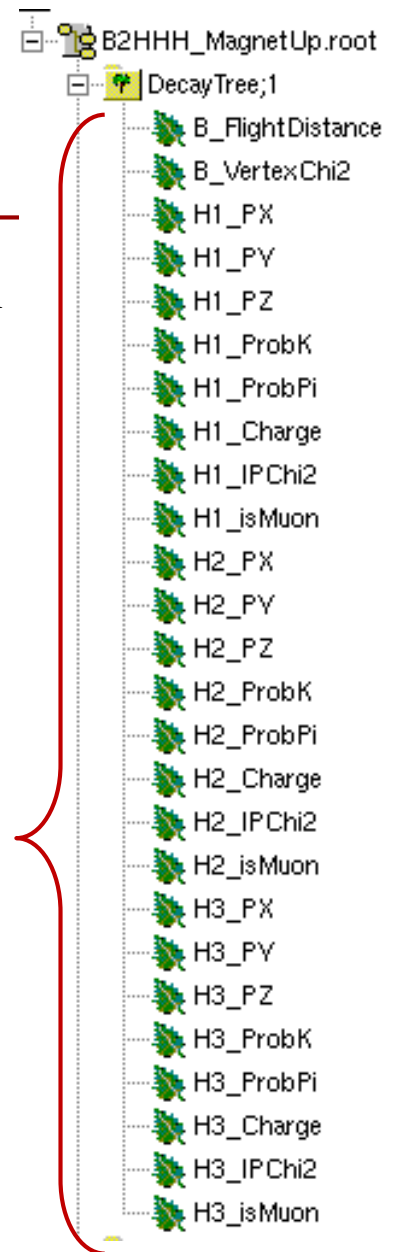


Struktura ntupla

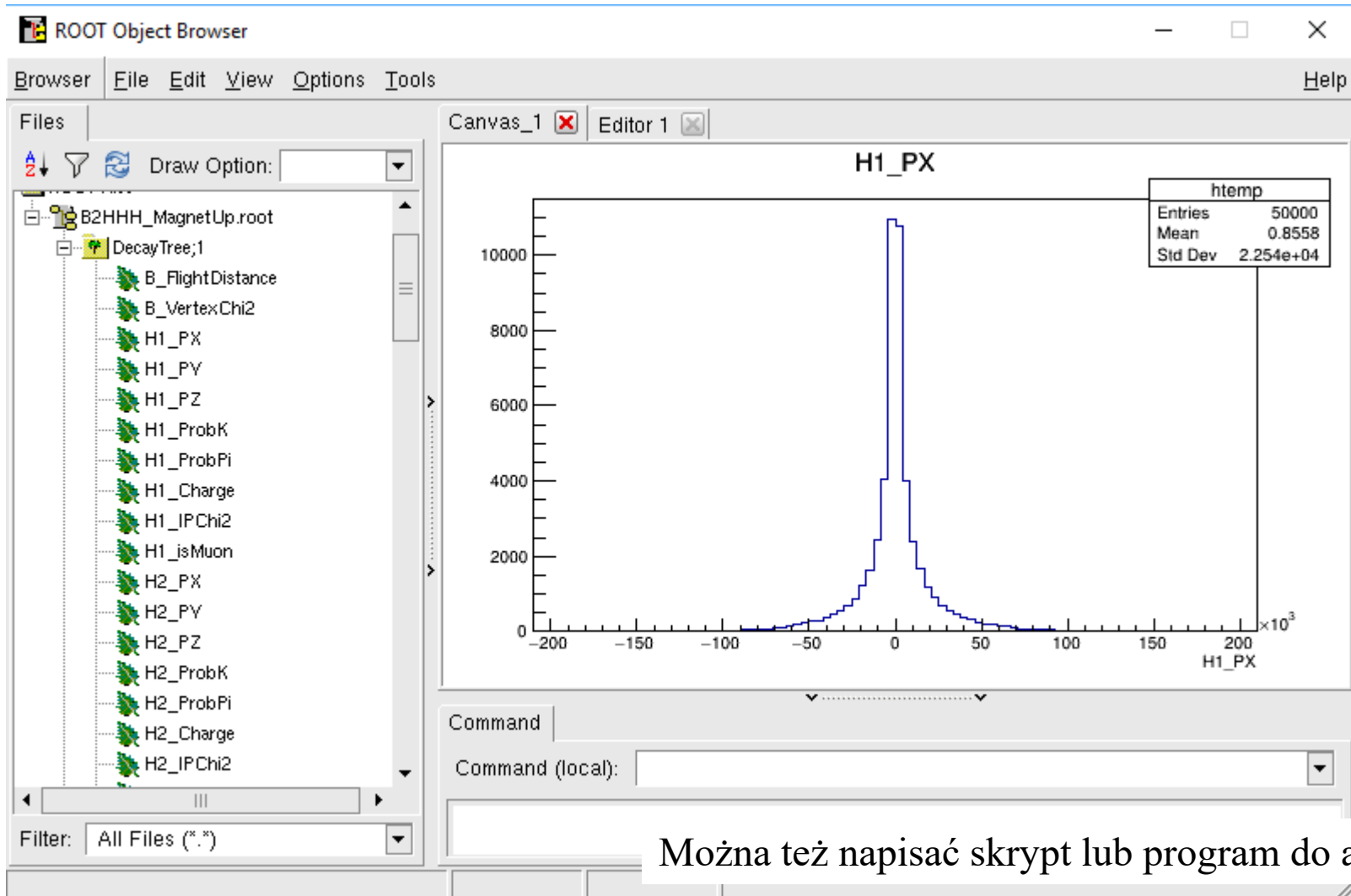
- PX , PY , PZ – odpowiednio współrzędne pędu i masa, w jednostkach naturalnych.
- $ProbK$, $ProbPi$ – prawdopodobieństwo identyfikacji cząstki jako K , Pi
- $IPChi2$ – różnica χ^2 dopasowania wierzchołka ze śladem h_3 i bez niego; dla śladów pochodzących z PV powinna być niewielka
- $Flight\ Distance\ (FD)$ – droga przebyta w detektorze



Dokładny opis zmiennych: [opis](#)



Wyklikana analiza



Można też napisać skrypt lub program do analizy

Opis projektu

Project

You will start by reconstructing the momentum, energy and mass of the B meson using the measured momenta of the kaons. You will then look for differences in the rates at which the B^+ decay process and the B^- decay process happen: this would be a difference in the behavior of matter and anti-matter (CP violation).

Ocenie podlega:

- sposób przeprowadzenia selekcji: próby różnych kryteriów, różne kombinacje ładunków, szukanie przypadków z nieprawidłową identyfikacją.
- sposób napisania programu: prosty skrypt, napisanie funkcji, klasy do selekcji, użycie `TLorentzVector`, etc.
- sposób opisu: wstęp teoretyczny (krótki, ale sensowny), poprawność wykonania rysunków, porównanie z wartościami tablicowymi, wnioski.

Warsztat

Analizę można wykonać serwerze **lhcbd1**, który znajduje się naszej Katedrze i jest widoczny poprzez sieć wydziałową, np. taurus.

Szczegóły logowania do kont podane są na zajęciach.

Pliki z danymi do analizy (wstępnie wybrane rzeczywiste przypadki zebrane przez LHCb i dane symulacyjne), znajdują się w repozytorium: */data4/edu/ceo/2022/* :

`B2HHH_MagnetDown.root`

`B2HHH_MagnetUp.root`

`PhaseSpaceSimulation.root`

Zaczynamy!

1. Zazwyczaj przy pierwszym kontakcie z plikiem z danymi, chcemy po prostu zobaczyć „co jest w środku”. W tym celu uruchamiamy ROOT z plikiem z danymi.

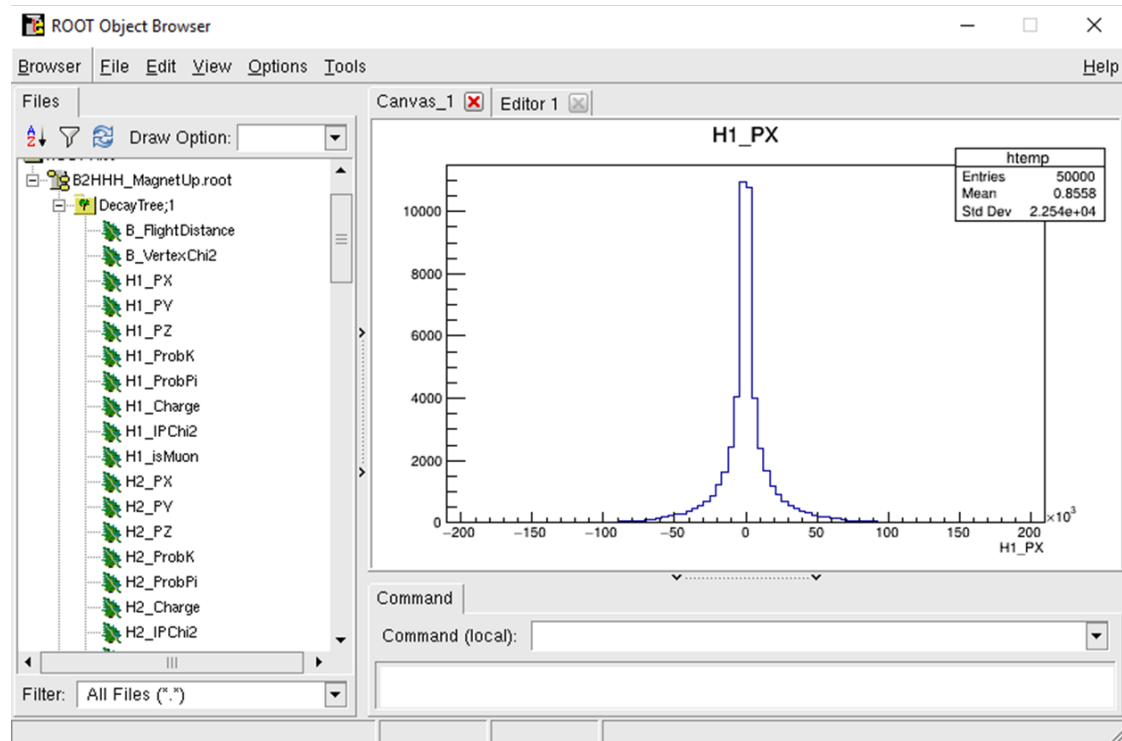
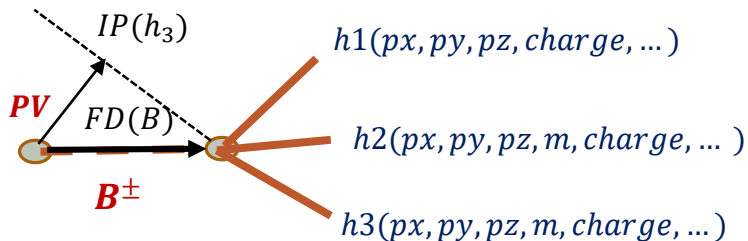
```
> root B2HHH_MagnetUp.root
```

```
root [1] TBrowser t
```

```
root [4] .q
```

okno z podglądem danych

tak kończymy pracę w roocie



Analiza

1. Analizę danych wykonujemy poprzez napisanie odpowiedniego programu.
Przykładowy program z najprostszą analizą wykonamy (w roocie) poprzez:

```
root [2] .x Bmeson.cpp
```

```
void Bmeson() {  
    gROOT->Reset();  
    TChain* Bchain = new TChain("DecayTree");  
    Bchain->Add("B2HHH_MagnetDown.root");  
    // TChain* Bchain = new TChain("PhaseSpaceTree");  
    // Bchain->Add("PhaseSpaceSimulation.root");  
  
    TTree* BDK_tree = Bchain;  
  
    Double_t    hh12_px, hh12_py, hh12_pz, hh12_m;  
    Double_t    h1_e, h2_e, h3_e;  
    Double_t    hh13_px, hh13_py, hh13_pz, hh13_m;  
    Double_t    hhh_px, hhh_py, hhh_pz, mass_3ka;  
    Double_t    h1_px, h1_py, h1_pz, h1_probK, h1_probPi, h1_isMuon,  
    h1_char, h1_IPChi2;  
    (...)  
    BDK_tree->SetBranchAddress("H1_PX", &h1_px);  
    BDK_tree->SetBranchAddress("H1_PY", &h1_py);|  
    BDK_tree->SetBranchAddress("H1_PZ", &h1_pz);  
    (...)
```

Wczytywanie
pliku z danymi
i jego struktury
(„drzewa”)

Deklaracja
potrzebnych
zmiennych

Program do analizy c.d.

```
Int_t NBINS=100;
Double_t GeV=0.001;
Double_t min_mass1 = 1.;
Double_t max_mass1 = 2.5;
Double_t min_mass2 = 1.;;
Double_t max_mass2 = 2.5;
Double_t min_Bmass = 5.;
Double_t max_Bmass = 6;
Double_t m_ka = 493.7;

TH1D* HH12_m= new TH1D( "HH12_mass", "HH12_mass ",NBINS, min_mass1, max_mass1);
TH1D* HH13_m= new TH1D( "HH13_mass", "HH13_mass ",NBINS, min_mass2, max_mass2);
TH1D* mass_3ka_hist= new TH1D("mass_3ka", "mass_3ka",NBINS, min_Bmass, max_Bmass);

Int_t Evt_tot = Bchain->GetEntries();
// Int_t Evt_tot=10000;

Double t mass h12, mass h13;
```

Deklaracja
histogramów


```
}
```

Program do analizy c.d.

Właściwa analiza.

Tutaj dla każdego przypadku można dokonać obliczeń, nałożyć kryteria, a na końcu wczytać wartość do histogramu.

```
for(Int_t event = 0; event < Evt_tot; ++event){
    Bchain->GetEvent(event);

    hh12_px = h1_px+h2_px;
    (...)
    h1_e = sqrt(h1_px*h1_px+h1_py*h1_py+h1_pz*h1_pz+ m_ka*m_ka);

    mass_3ka = (h1_e+h2_e+h3_e)*(h1_e+h2_e+h3_e)-(hhh_px*hh12_px +
    hhh_py*hhh_py + hhh_pz*hhh_pz);
    mass_3ka = sqrt(mass_3ka);
    mass_3ka_hist->Fill(mass_3ka*GeV);
}
```

Program do analizy c.d.

Deklaracja pola na rysunek (kanwy), wykonanie rysunku histogramu

```
TCanvas* mass_B_can=new TCanvas("mass_B_can","mass_B_can",0,0,800,600);  
    mass_B_can->cd(1);  
    mass_3ka_hist->Draw();  
} // main
```