

Pomalý pixelový simulátor D^\pm v 2014 Au+Au 200 GeV datech

Jakub Kvapil

Školitel: Mgr. Jaroslav Bielčík, PhD.

Konzultant: Ing. Miroslav Šimko

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
České vysoké učení technické v Praze

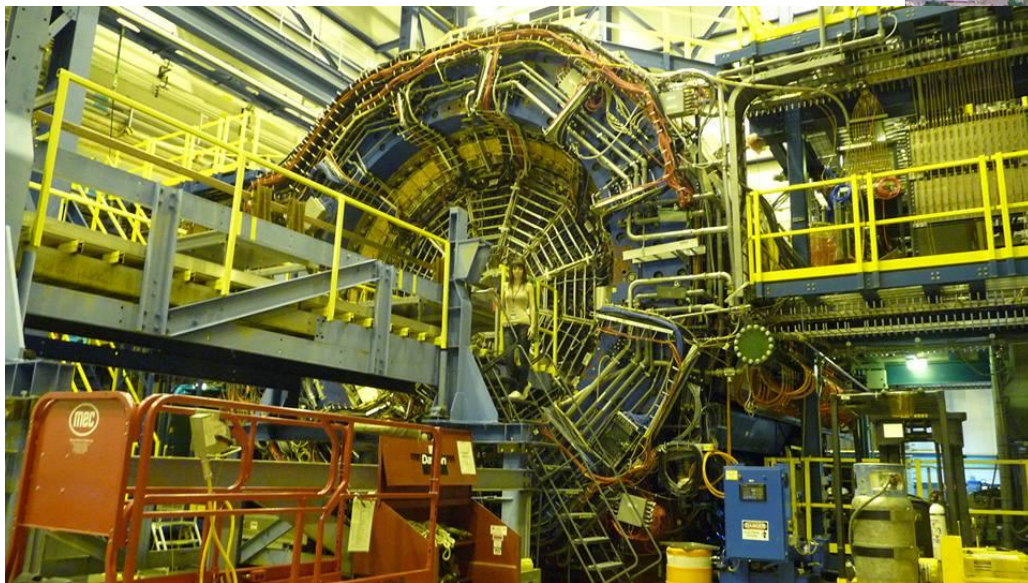
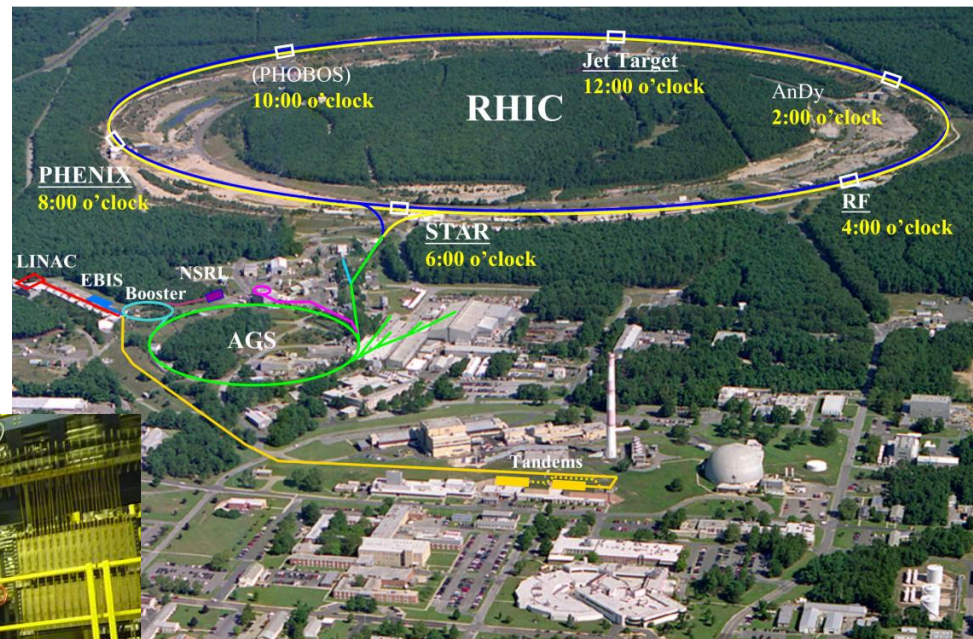
Obsah

- RHIC, STAR, HFT motivace
- Pomalý pixelový simulátor- DIGMAPS
 - Výsledky z kosmických dat
 - Testování na datech s nízkou luminozitou
- D^\pm rekonstrukce
 - Výběrová kritéria
 - Rozdíl mezi SL15c a SL16d
 - D^\pm invariantní hmota a signifikance, p_T biny

Relativistic Heavy Ion Collider

BROOKHAVEN
NATIONAL LABORATORY

- $\uparrow p + \uparrow p$, $p + \text{Al}$, $p + \text{Au}$, $d + \text{Au}$, $\text{He}^3 + \text{Au}$, $\text{Cu} + \text{Cu}$, $\text{Cu} + \text{Au}$, $\text{Au} + \text{Au}$, $\text{U} + \text{U}$
- 9,2 – 200 GeV (500 GeV pro protony)
- **STAR, PHENIX** – QGP, QCD fázový diagram hmoty, spin protonu



STAR detektor

RHIC

STAR Detektor

Time Projection Chamber:

Tracking, PID (dE/dx)

Time Of Flight:

PID ($1/\beta$)

Barrel ElectroMagnetic Calorimeter

Muon Telescope

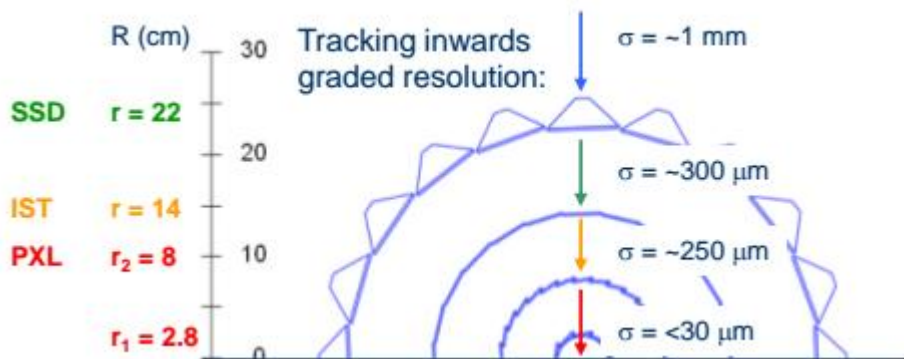
Detector (2014):

Muon tracking

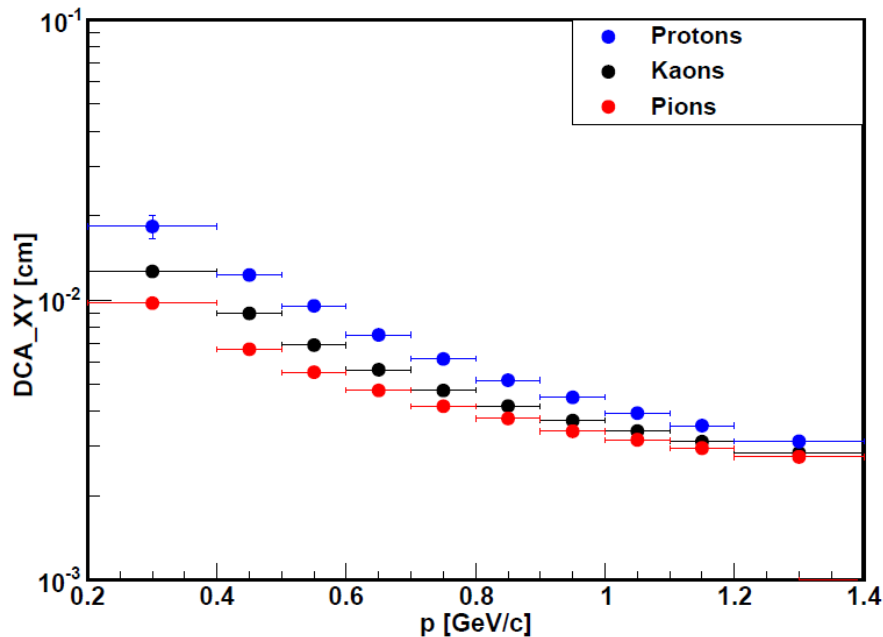
Heavy Flavor Tracker (2014):

- PiXeL
- Intermediate Silicon Tracker
- Silicon Strip Detector

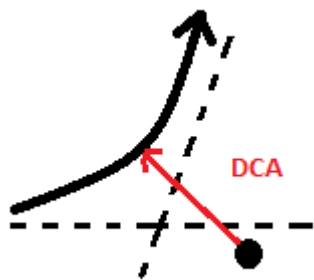
Heavy Flavor Tracker



DCA rozlišení (M. Szelezniak, Vertex 2014)



DCA rozlišení (M. Šimko, QM15)



DCA – Distance of closest approach

Se všemi vrstvami detektoru DCA rozlišení je lepší než 30 μm

HFT Motivace

- HFT se používá ke studiu částic obsahující těžký kvark měřením rozpadových vrcholů

$$D^0 \quad c\tau \approx 120 \mu\text{m}$$

$$\Lambda_c^+ \quad c\tau \approx 60 \mu\text{m}$$

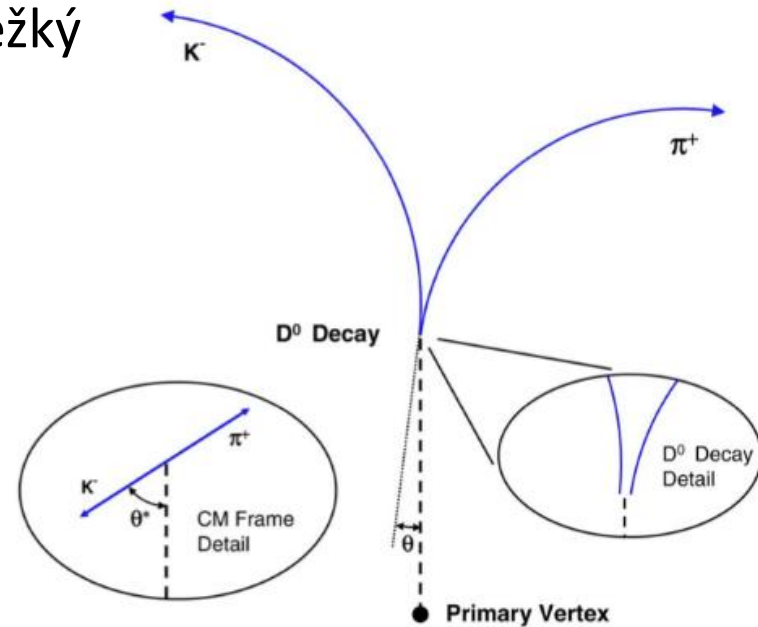
$$B \text{ mesony} \quad c\tau \approx 500 \mu\text{m}$$

$$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$$

$$D^\pm \rightarrow K^\mp \pi^\pm \pi^\pm$$

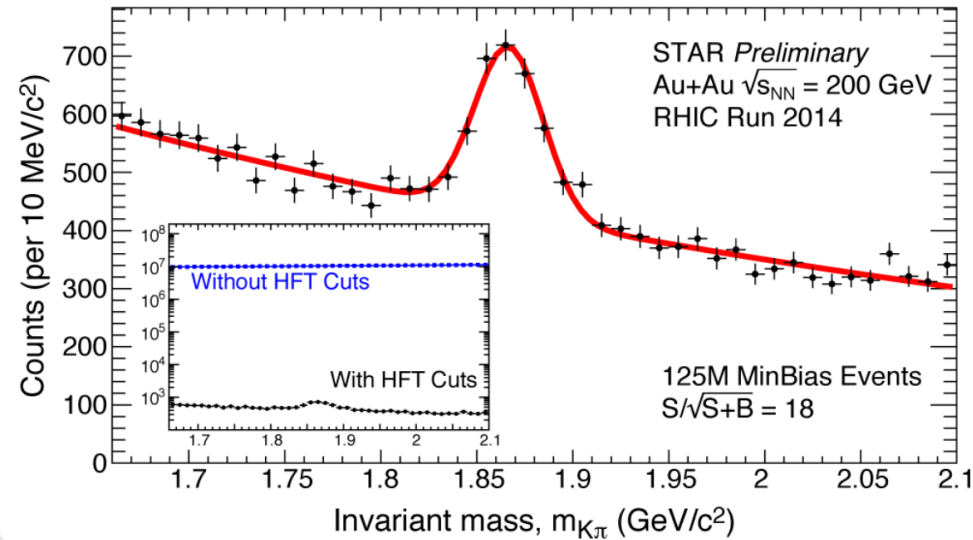
$$\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$$

$$B \rightarrow J/\psi X$$

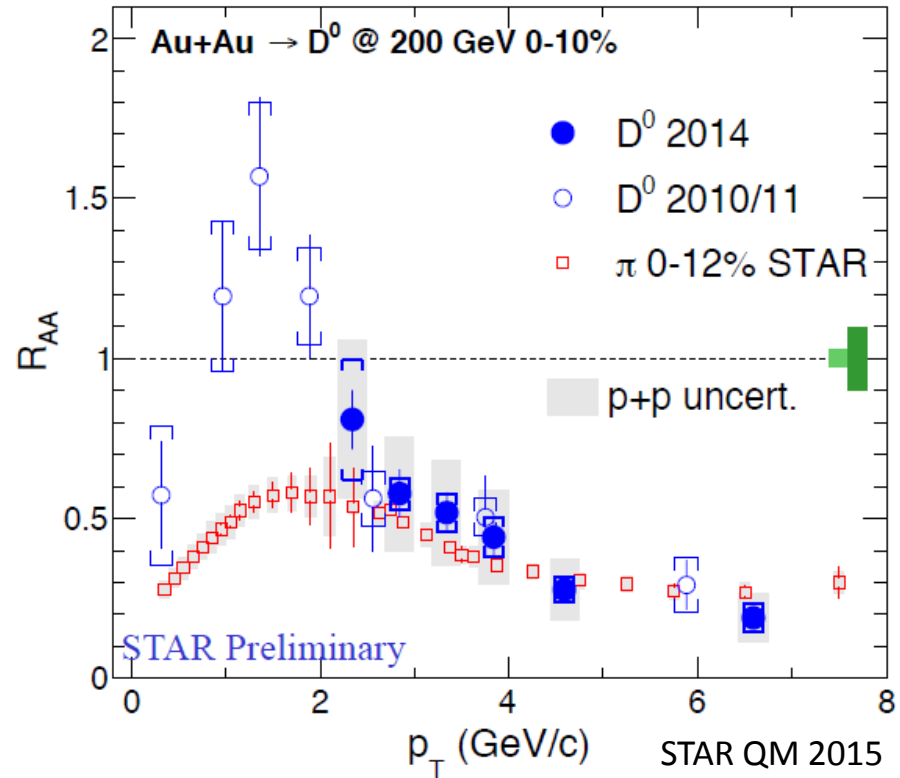


Rozpad of D^0
(STAR HFT TDR)

První výsledky s HFT



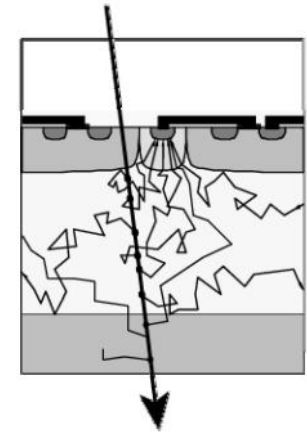
První výsledky topologické rekonstrukce D^0
(G. Buren, Vertex 2015)



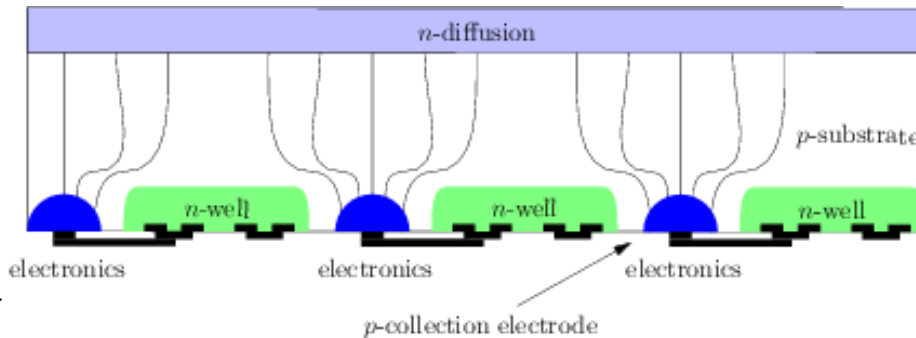
Porovnání R_{AA} mezi piony a D^0

Výhoda monoliticky aktivních pixelových senzorů

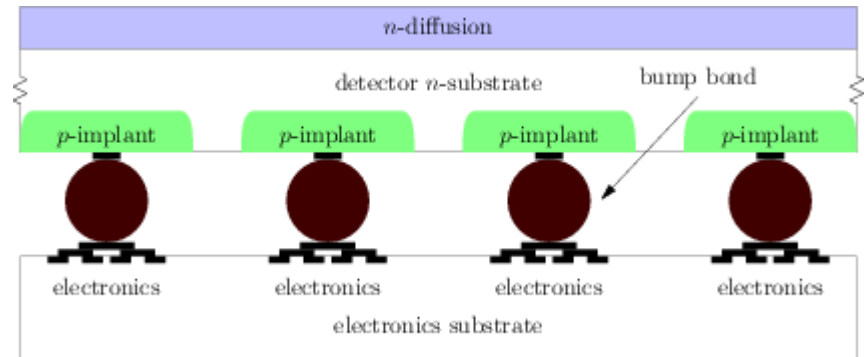
- První MAPS použitý v částicových experimentech
- První 2 vrstvy HFT jsou MAPS PXL
- Monolitický – 1 vrstva křemíku vs Hybrid – více spojených vrstev
 - + menší, méně objemu, kapacity a šumu
 - + Lze měřit větší hustotu částic → blíže interakčnímu bodu
 - Zapotřebí různých vlastností křemíku pro detektor a elektroniku
 - Nižší radiační odolnost



Difúze elektronů



Řez monolitickým aktivním pixelovým senzorem



Řez hybridním pixelovým senzorem

Sběr náboje:

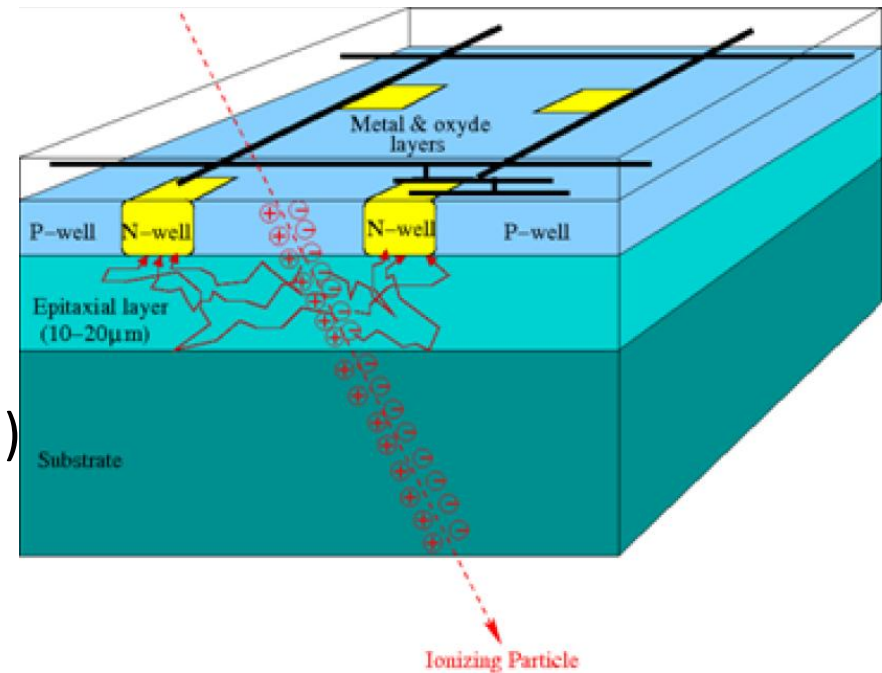
- MAPS: Difúze náboje k elektrodě
- Hybrid: Drift náboje k nejbližší kuličce a transfer na elektroniku

Pixelový simulátor

- **DIG**itizer tool for **MAPS** (A. Besson, Strasbourg)
- Pomalý simulátor pro MAPS pixelový senzor
 - Vstupní parametry, např. rozteč, ionizační energie, tloušťka epitaxiální vrstvy, ADC práh
- Využití
 - Schopnost popsat odezvu detektoru včetně šumu na úrovni jednotlivých pixelů
 - Poskytnutí simulací potřebných pro určení efektivity detektoru

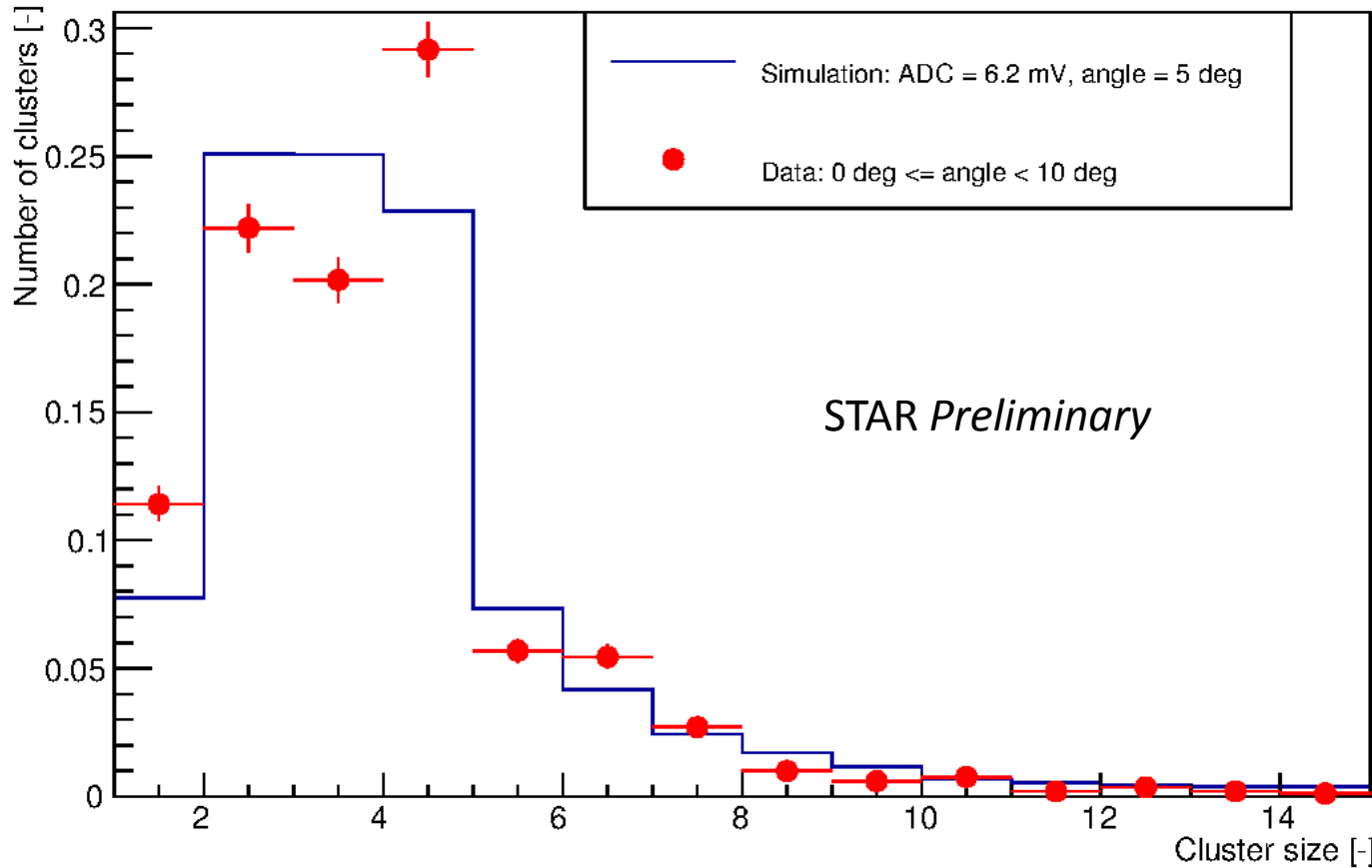
Princip simulace

1. Generace částice
 - Úhlová závislost
2. Předání energie – generace náboje
 - Landau zákon ($MPV = 80 \text{ e-}/\mu\text{m}$)
3. Transport náboje k N-well diodám
 - Aproximace Lorentzian + Gaus
4. Nulové potlačení a shlukování
 - Separace zásahů



A. Besson, DIGMAPS: a standalone tool to study digitization an overview of a digitizer strategy for CMOS/CCD sensors

Testování na kosmických datech



Miroslav Šimko (STAR), Vertex 2014

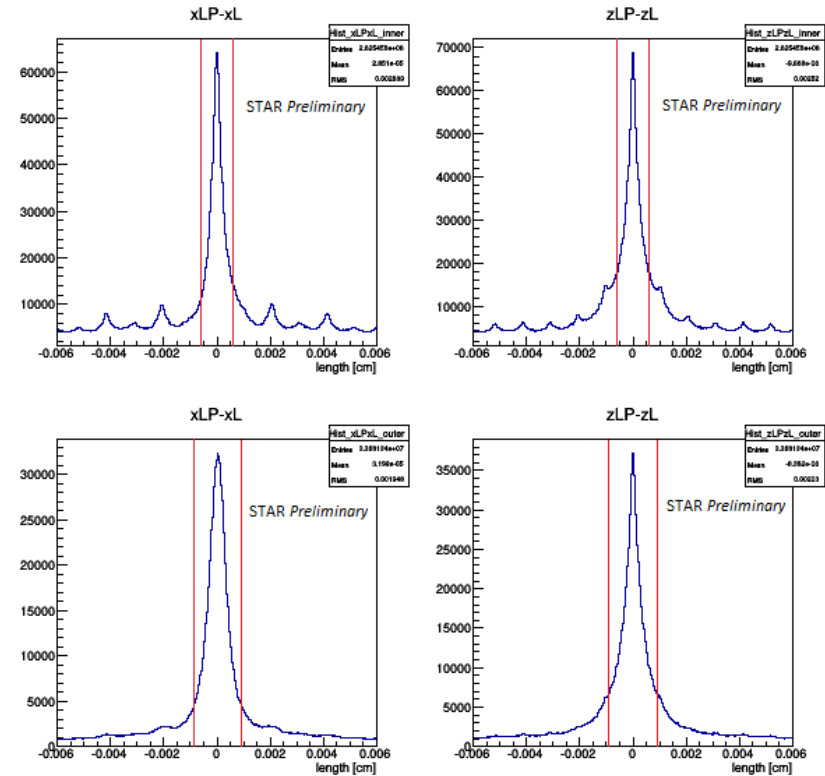
Simulátor byl vyladěn na kosmických datech na detektoru STAR

Testování na datech s nízkou luminozitou

- DIGMAPS simulátor je vyladěn na minimálně ionizující částice
- Testování, zda-li je použitelný i na ostatní druhy částic
 - Pokud ano, přidání DIGMAPSu do STAR softwaru
- Jak to uděláme?
 - Použijeme Au+Au surová data o nízké luminozitě
 - Zrekonstruujeme dráhy
 - Porovnáme velikost shluků v HFT
 - Většina z nich budou falešné zásahy o velikosti shluku 1-2
 - Aplikujeme selekční kritéria pro potlačení falešných zásahů, očekávána velikost shluků je 3-4
 - Porovnání s výstupem z DIGMAPS

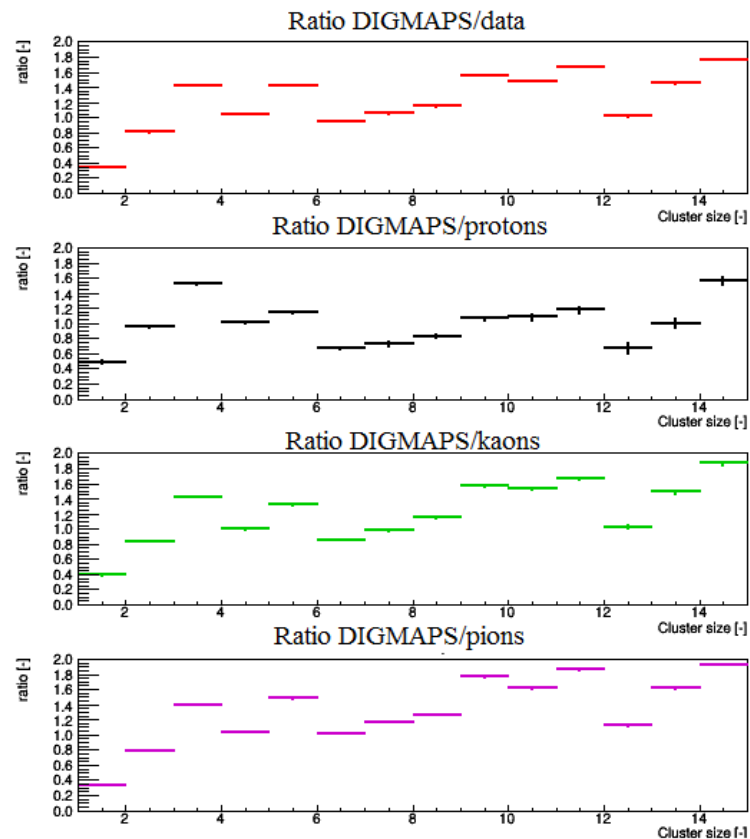
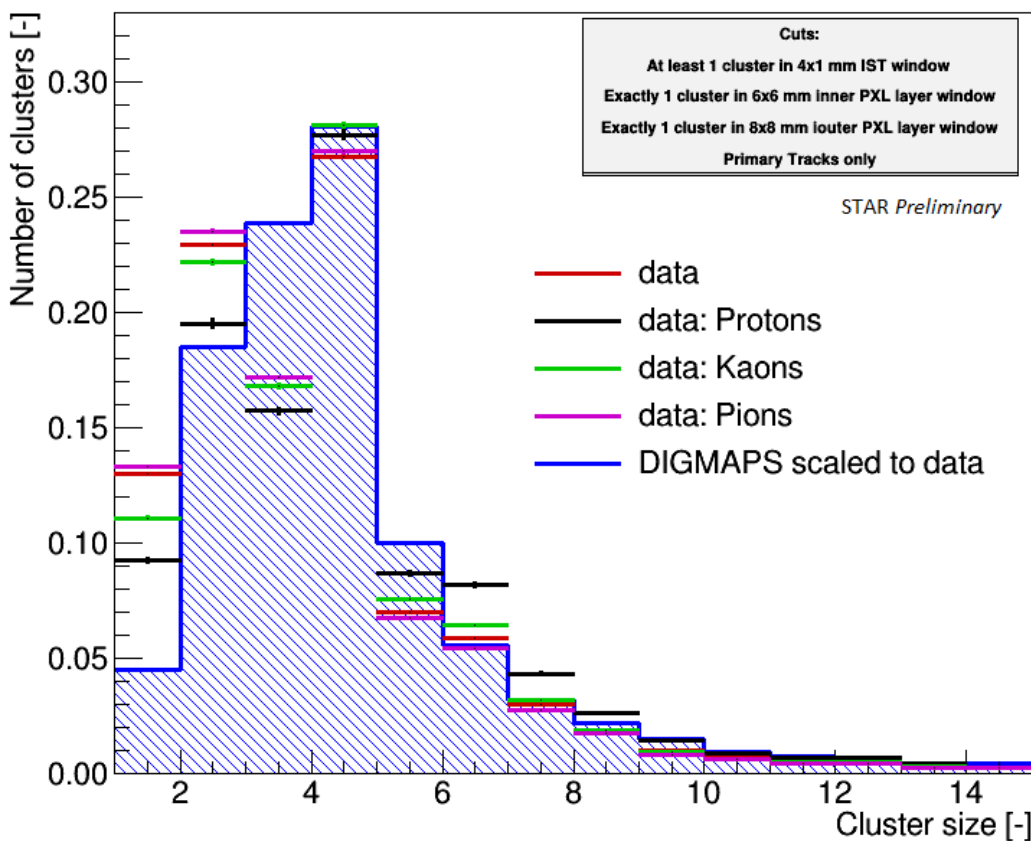
Selekční kritéria

- 2014, Au+Au 200 GeV, nízká luminozita
- PXL a IST bylo použito v sledování drah
- Požadován přesně jeden zásah v každé vrstvě HFT
- Identifikace částic pro protony (2σ v TPC), kaony (2σ v TPC) a piony (1σ v TPC)
- Selekční kritéria aplikovaná na dráhy
 - Alespoň jeden shluk v IST 2σ -širokém okně ($4 \times 1 \text{ mm}^2$)
 - Přesně 1 shluk ve vnitřním PXL v 2σ -širokém okně ($6 \times 6 \text{ }\mu\text{m}^2$)
 - Přesně 1 shluk ve vnějším PXL v 2σ -širokém okně ($8 \times 8 \text{ }\mu\text{m}^2$)
 - Pouze primární dráhy



Shluky s identifikací částic

Cluster size: data and DIGMAPS comparison

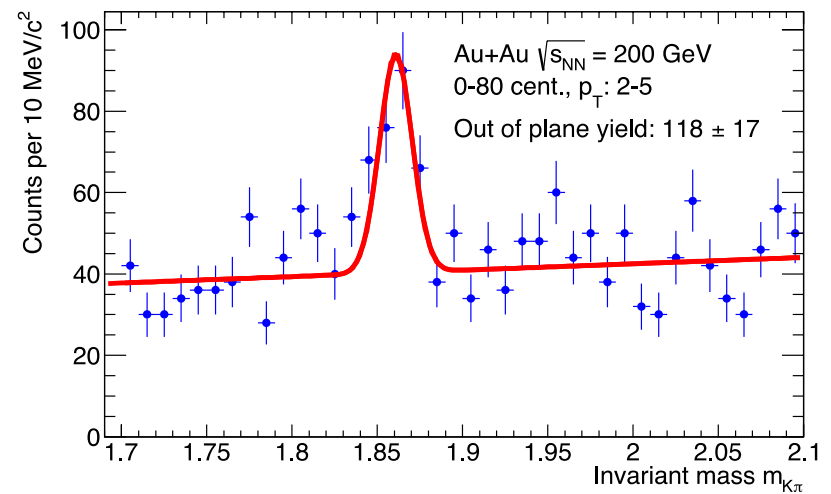
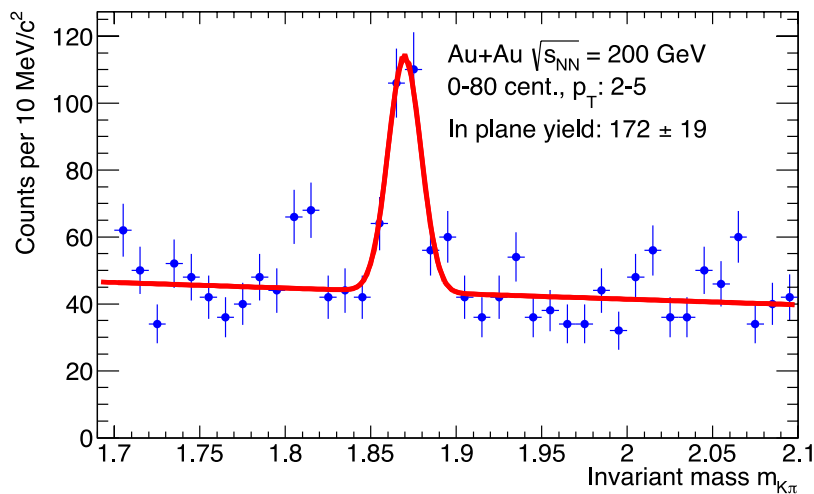


- Chování je skvěle popsáno ve větších shlucích pixelů ADC práh: 6.2mV

D[±] rekonstrukce

- 2014 Au+Au 200 GeV
- Snaha zreprodukovat STAR výsledky (SL15c)
- Přepsat kód do nové verze knihovny kde je opravený HFT (SL16d)

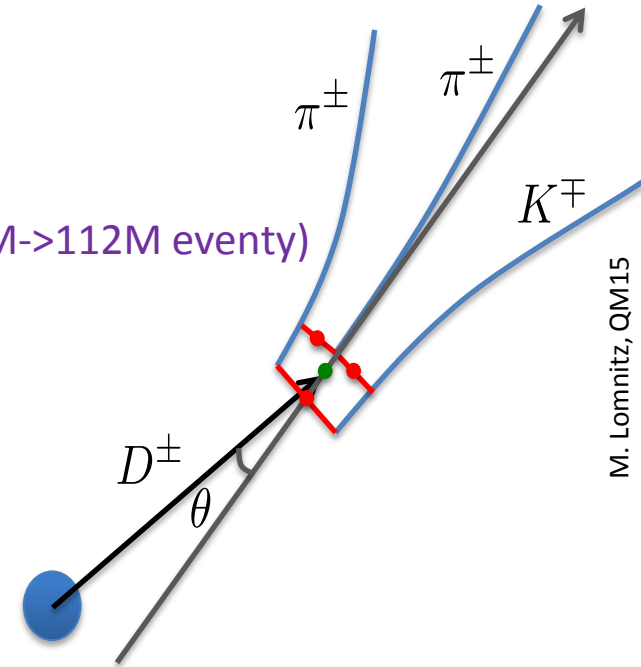
- Něco o D mezonu
 - $D^+ = c\bar{d}, D^- = d\bar{c}$
 - $m = (1869.6 \pm 0.1) \text{ MeV}$
 - $c\tau = 311.8 \mu\text{m}$
 - $D^\pm \rightarrow K^\mp 2\pi^\pm$ B.R. 9.13%



Výtěžek D^{+/-} v rovině a mimo rovinu. (M. Lomnitz, QM15)

Cuts

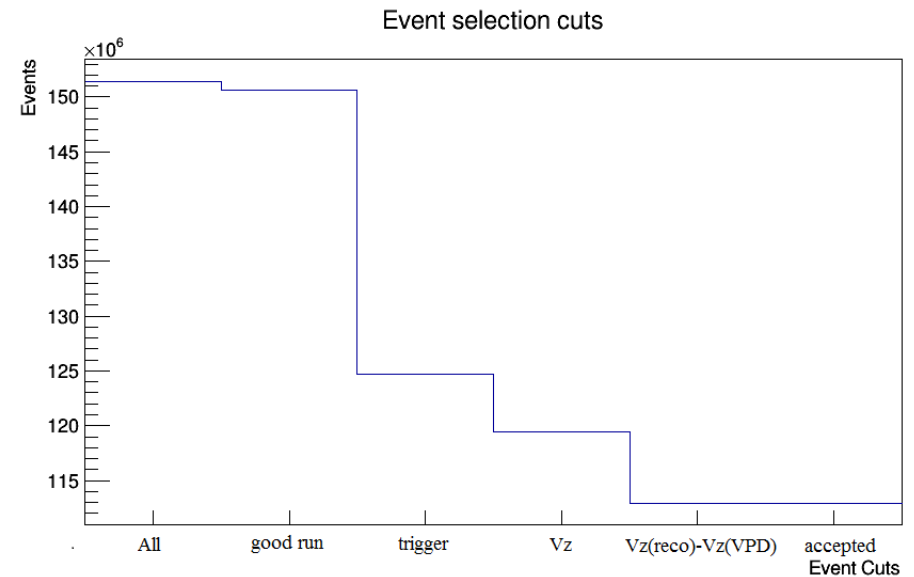
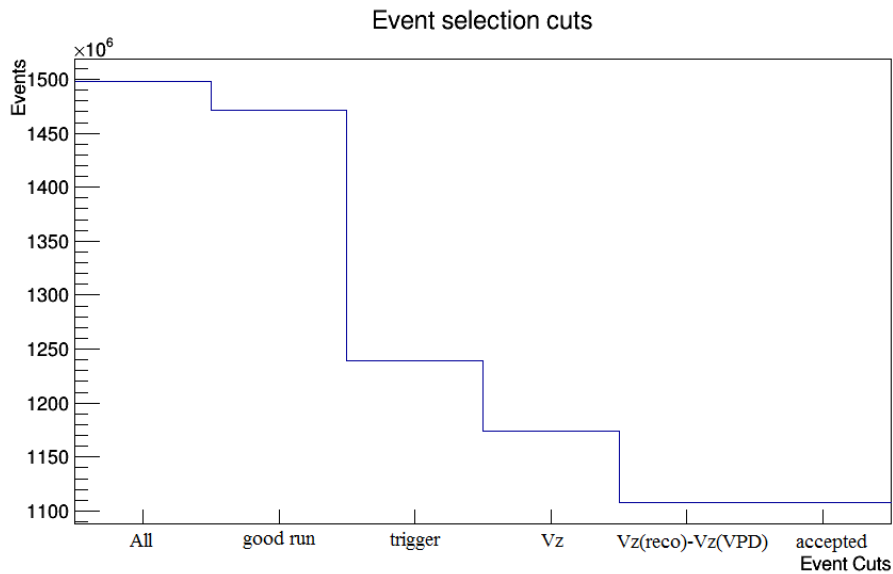
- **2014 Au+Au 200 GeV, SL15c: 1.6G, SL16d: 150M**
- Selekční kritéria na události: (1.6G->1.1B events)(150M->112M eventy)
 - $|V_z(\text{reco.})| < 6 \text{ cm}$
 - $|V_z(\text{VPD}) - V_z(\text{reco.})| < 3 \text{ cm}$
- Selekční kritéria na dráhy:
 - Zásah v HFT: PXL₁, PXL₂, IST, SST
 - Zásah v TPC: $N_{\text{TPC}} > 15$
- Topologická selekční kritéria
 - DCA mezi dceřinými částicemi ($\pi\pi$, πK , $K\pi$): $\text{DCA}_{XY} < 80 \mu\text{m}$
 - Směřující úhel: $\cos(\theta) > 0.998$
 - D^\pm rozpadová délka: $30 \mu\text{m} < c\tau < 2000 \mu\text{m}$ (150M triplety) (788M triplety)
 - $\Delta_{\text{max}} < 200 \mu\text{m}$
 - DCA dceřiné částice k primárnímu vrcholu: $\text{DCA}_\pi > 100 \mu\text{m}$, $\text{DCA}_K > 80 \mu\text{m}$ (27k triplety, D^\pm 7k) (19k triplety, D^\pm 5k)
- Identifikace částic
 - pion $p_T > 0.8 \text{ GeV}$, kaon $p_T > 0.6 \text{ GeV}$
 - TPC: $|\ln\sigma| < 3.0$ pro K and π
 - TOF: $|1/\beta - 1/\beta_K| < 0.05$, $|1/\beta - 1/\beta_\pi| < 0.06$ (added)



Selekční kritéria na události

SL15c

SL16d

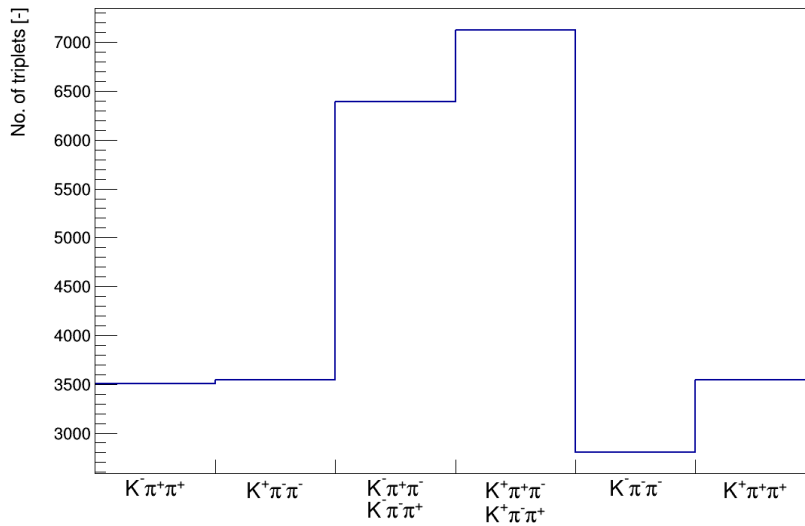


Nábojová kombinace tripletů

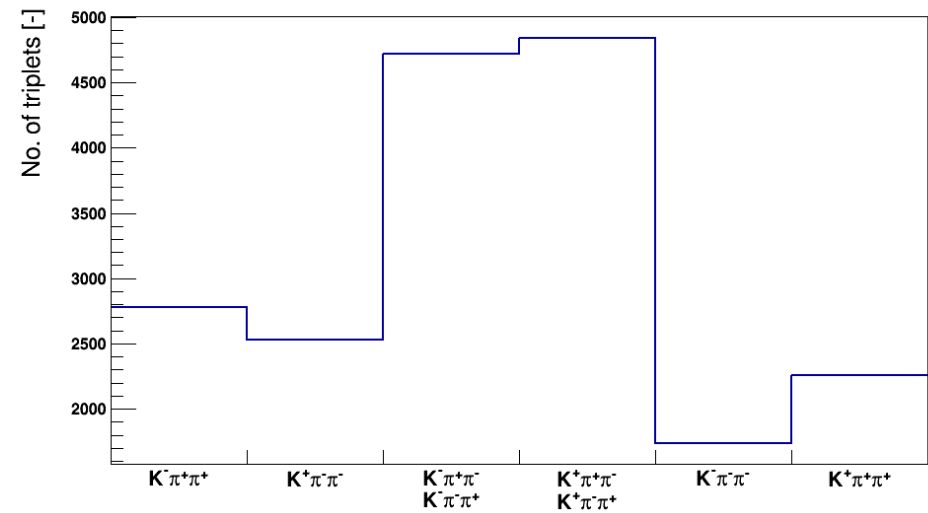
SL15c

SL16d

Triplets charge combination



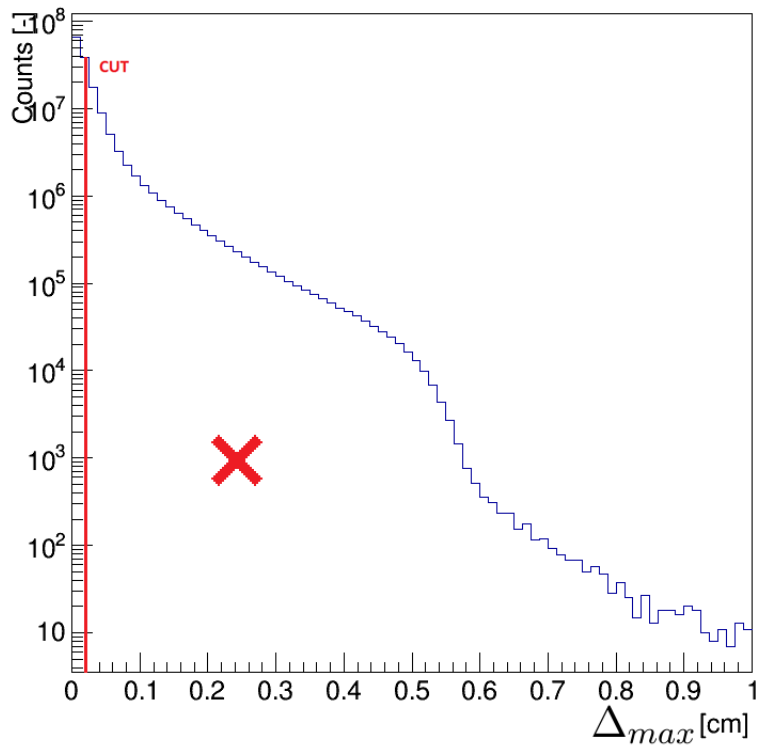
Triplets charge combination



Δ_{max} řez

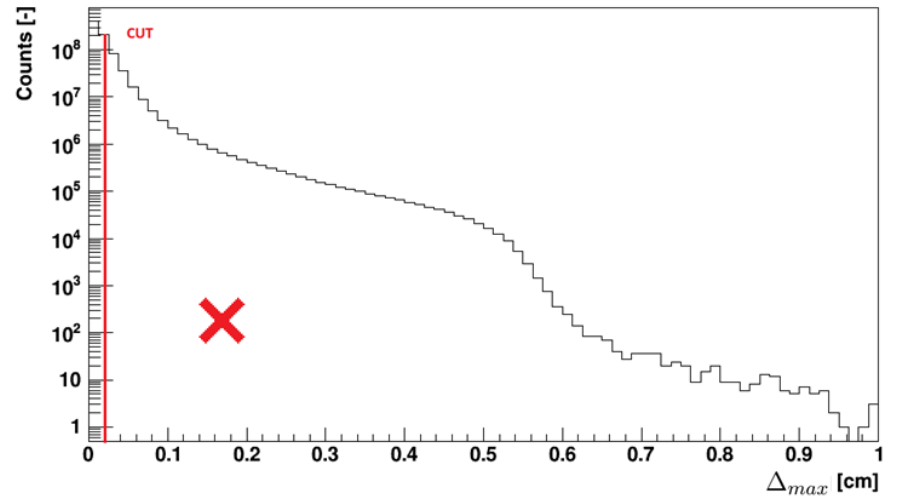
SL15c

Δ_{max}



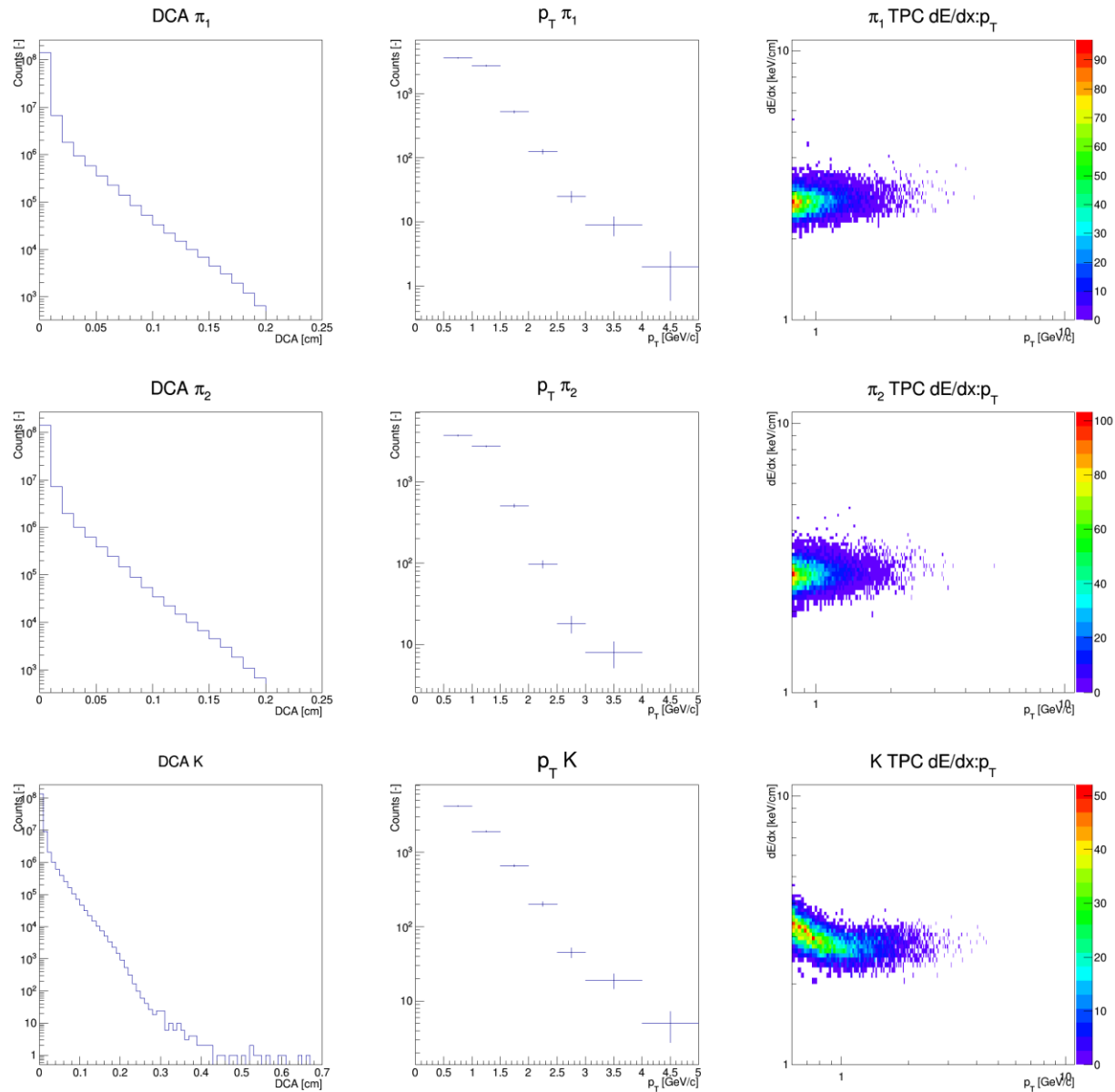
SL16d

Δ_{max}



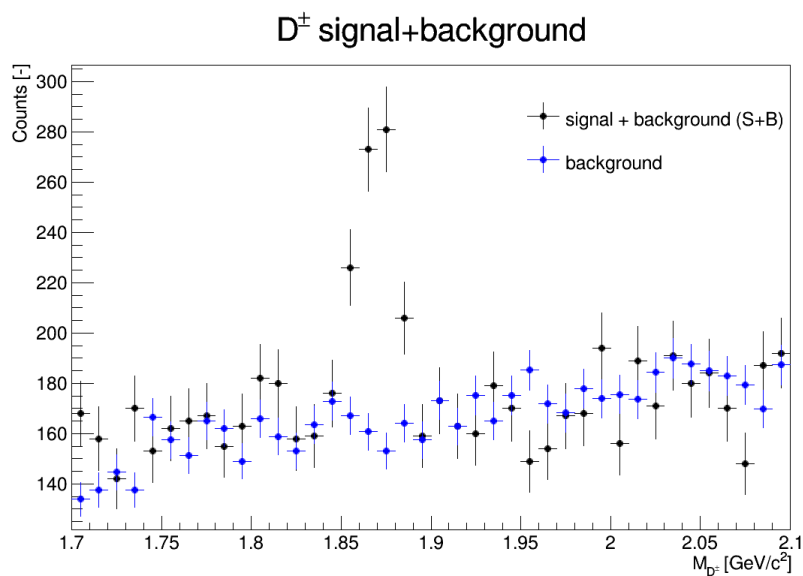
Δ_{max} – maximální vzdálenost mezi v12, v23 a v31
v12 – zrekonstruovaný vrchol částice1 a částice2...

DCA dceřiných částic, p_T a dE/dx



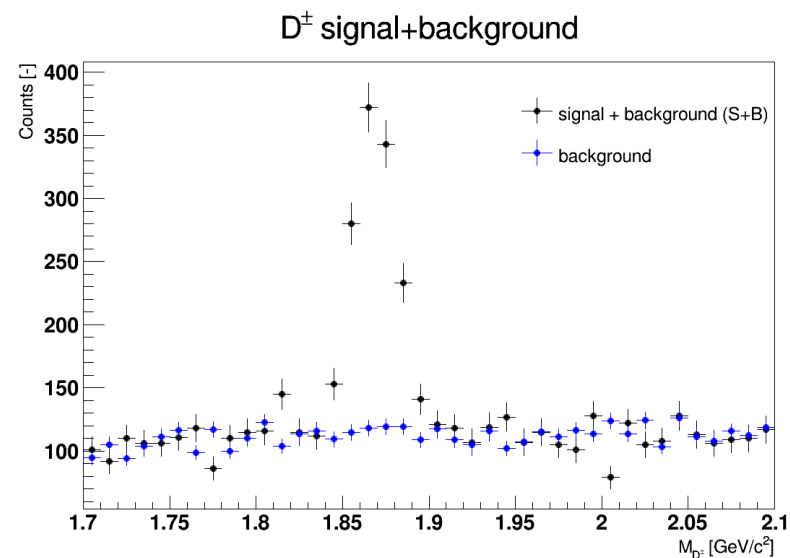
Signál a pozadí metodou špatného znaménka

SL15c



vstupy: 7k

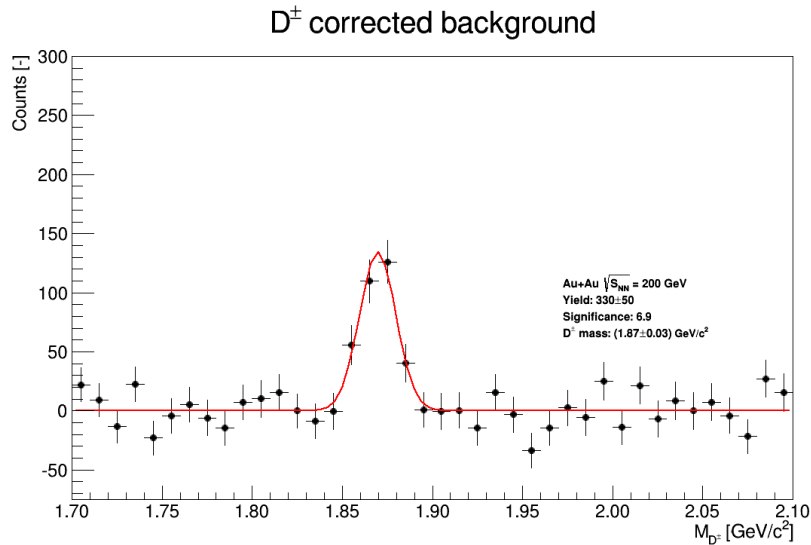
SL16d



vstupy: 5k

Po odečtení pozadí

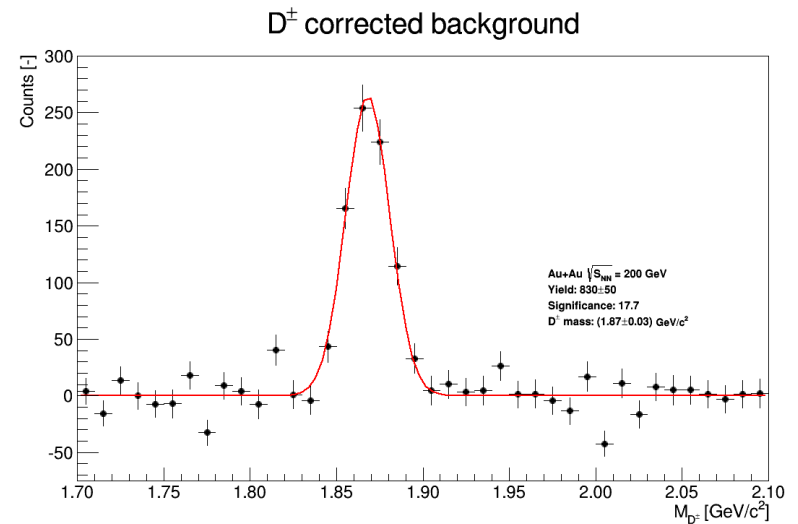
SL15c



Výtěžek: 330±50
Signifikance: 6.9

$$\text{significance} = \frac{S}{\sqrt{S + 2B}}$$

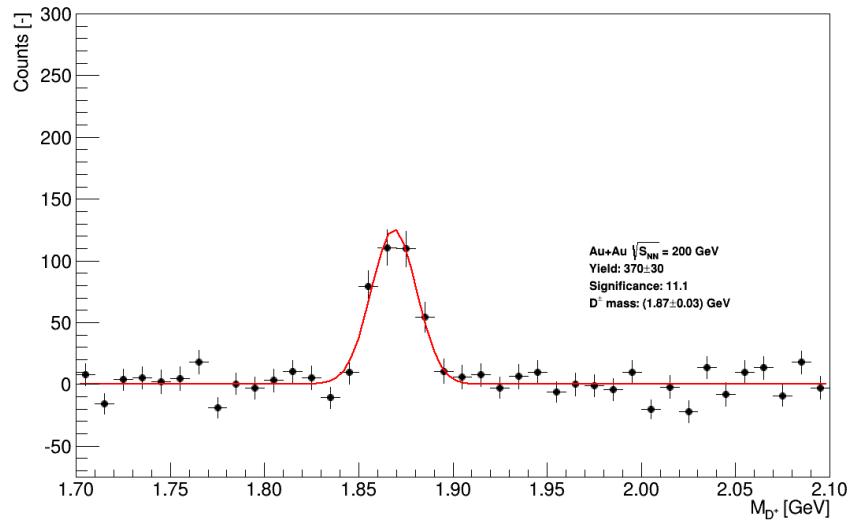
SL16d



Výtěžek: 830±50
Signifikance: 17.7

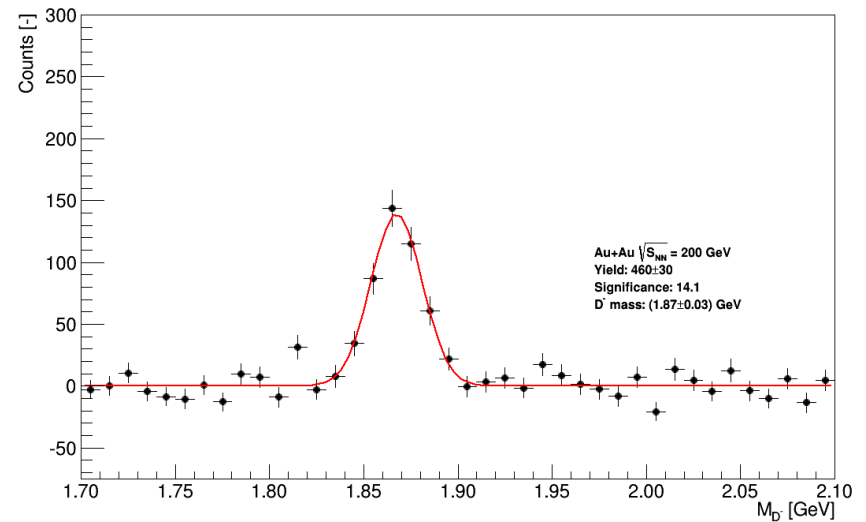
D⁺ a D⁻ signifikance (SL16d)

D⁺ corrected background



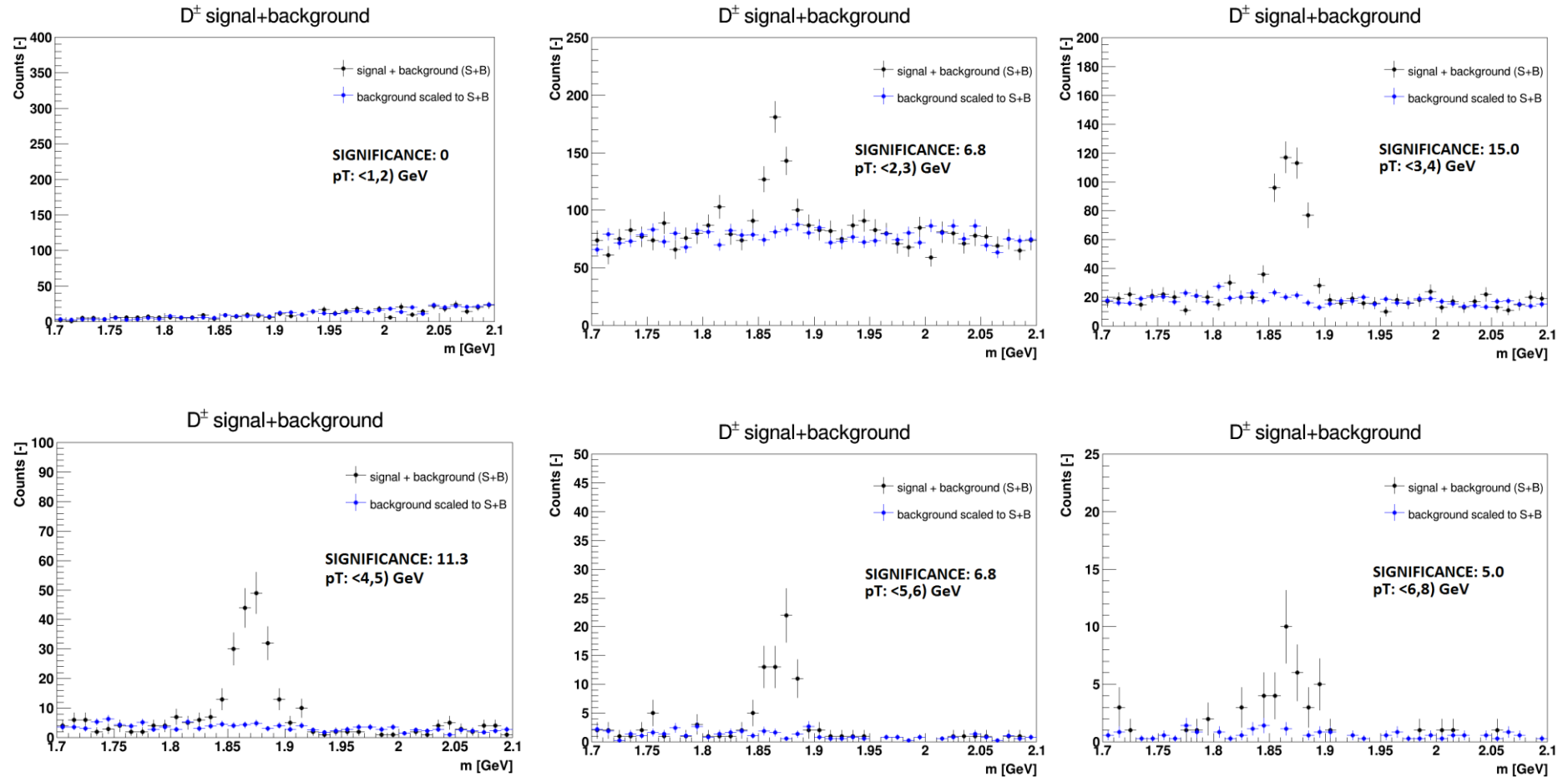
Výtěžek: 370±30
Signifikance: 11.1

D⁻ corrected background



Výtěžek: 460±30
Signifikance: 14.1

Signifikance D^\pm p_T binů (SL16d)



Výhled do budoucna a shrnutí

- HFT může být použit pro studium částic obsahující těžký kvark přesným měřením sekundárních rozpadových vrcholů
- HFT byl úspěšně nainstalován na STAR. První MAPS použitý v částicovém experimentu. První výsledky jsou již dostupné
- DIGMAPS byl vyvinut pro simulování pixelového detektoru
- DIGMAPS byl vyladěn na kosmických datech a otestován na datech s nízkou luminozitou
- Úspěšná rekonstrukce D^\pm na datech před (SL15c) a po korekci HFT (SL16d)
 - Pozoruhodné zvýšení signifikance
 - Zvýšení signifikance i v ostatních tří-částicových měřeních
- Korekce na geometrické přijetí detektoru a rekonstrukční efektivitu
- Optimalizace výběrových kritérií pro D^\pm signál
 - Multivariate Data Analysis a strojového učení
- $D^\pm R_{AA}$ spektrum

Děkuji za pozornost