

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Katedra fyziky
Obor: Jaderné inženýrství
Zaměření: Experimentální jaderná fyzika



Studium simulací proton-protonových srážek v experimentu ALICE

VÝZKUMNÝ ÚKOL

Posluchač: Jitka Brabcová
Vedoucí úkolu: Mgr. Jaroslav Bielčík, Ph.D.
Rok: 2011

Před svázáním místo téhle stránky vložíte zadání práce s podpisem děkana
(bude to jediný oboustranný list ve Vaší práci) !!!!

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svůj výzkumný úkol vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

Poděkování

Děkuji Mgr. Jaroslavu Bielčíkovi, Ph.D. za vedení mého výzkumného úkolu a za podnětné návrhy pro práci, které ji obohatily. Dále děkuji Jaroslavu Adamovi a Čeňkovi Zachovi za obětavou pomoc ohledně práce.

Název práce: Studium simulací proton-protonových srážek v experimentu ALICE

Autor: Jitka Brabcová

Obor: Experimentální jaderná fyzika

Druh práce: Výzkumný úkol

Vedoucí práce: Mgr. Jaroslav Bielčík, PhD.

Abstrakt: V rámci výzkumného úkolu se provede analýza simulovaných pp srážek v experimentu ALICE za účelem studia rekonstrukce půvabných mezonů. Určí se efektivita této rekonstrukce.

Klíčová slova : Aliroot, PYTHIA, simulované a rekonstruované dráhy, dvoučásticový rozpad, D-mezon, invariantní hmotnost, efektivita rekonstrukce

Obsah

1	Úvod	9
2	Studium půvabných mezonů	10
3	Analýza simulovaných p+p srážek při energii 7 TeV	20
4	Výsledky	28
5	Závěr	43

Seznam obrázků

2.1	Schéma částí detektoru ALICE	10
2.2	Inner tracking system- složený z vrstev detekčních systémů: křemíkové stripové a driftové detektory, SSD a SDD a rozlišení polohy je nejlépe zajištěno pixelovým detektorem, SPD	11
2.3	Time projection chamber- časová projekční komora. Technické parametry: rozlišení na hybnost- 1% pro nízké hybnosti do $1\text{GeV}/c$, pro vysoké hybnosti kolem $100\text{GeV}/c$ to činí 10%, rozlišení mezi dvěma dráhami- $5\text{MeV}/c$ na velikost dráhy 20fm , dE/dx - závisí na hustotě částic při vyšších hybnostech, plné azimutální pokrytí.	12
2.4	Produkce těžkých kvarků	13
2.5	Procesy vzniku těžkých kvarků uvažovaných v PYTHII. Silné čáry představují tvrdé procesy a tenké náleží počátečním či koncovým stavům partonové spršky	13
2.6	Půvabné mezony	14
2.7	Fragmentační poměry půvabných kvarků [5]	14
2.8	Analýza pro invariantní hmotnost D^* z rozdílů hmot $M(K\pi\pi) - M(K\pi)$ [6]	15
2.9	Analýza pro invariantní hmotnost D^0 pro různé rozsahy hybností [18]	16
2.10	Účinný průřez D^*	17
2.11	Účinný průřez D^* a D^0	17
2.12	Modifikační faktor pro D^+ a D^0 při centrálních srážkách a porovnání s piony	18
2.13	Modifikační faktory D^0 a D^+ při centrálních srážkách a periferálních srážkách	18
2.14	Potlačení D^0 při centrálních srážkách pro různé rozsahy hybností	19
3.1	Schéma funkčnosti a souvislosti nástrojů pro simulaci a analýzu .	21
3.2	Použití Labelu	22
3.3	Použití kódu pro nalezení dcer	23
3.4	Signál z TPC pro kaony, piony, protony a elektrony	25
3.5	Schéma rekonstruovaného vertexu a drah	26
4.1	Hmotnost D^0 -mezonu	29
4.2	Hmotnost kaonu	29

4.3	Hmotnost pionu	30
4.4	Hybnostní rozdělení D^0 -mezonu	31
4.5	Hybnostní rozdělení kaonu	31
4.6	Hybnostní rozdělení pionu	32
4.7	Pseudorapiditní rozdělení D^0 -mezonu	32
4.8	Pseudorapiditní rozdělení kaonu	33
4.9	Pseudorapiditní rozdělení pionu	33
4.10	Azimutální úhlové rozdělení D^0 -mezonu	34
4.11	Azimutální úhlové rozdělení kaonu	34
4.12	Azimutální úhlové rozdělení pionu	35
4.13	Četnost eventů podle počtu D^0 v nich obsažených	35
4.14	Invariantní hmotnost D^0 -mezonu z $K\pi$ párů	36
4.15	Spektra příčných hybností MC a RECO od D^0 -mezonu	37
4.16	Spektra příčných hybností MC a RECO od kaonu	38
4.17	Spektra příčných hybností MC a RECO od pionu	39
4.18	Rapidita MC a RECO od D^0 -mezonu	40
4.19	Rapidita MC a RECO od kaonu	41
4.20	Rapidita MC a RECO od pionu	42

Kapitola 1

Úvod

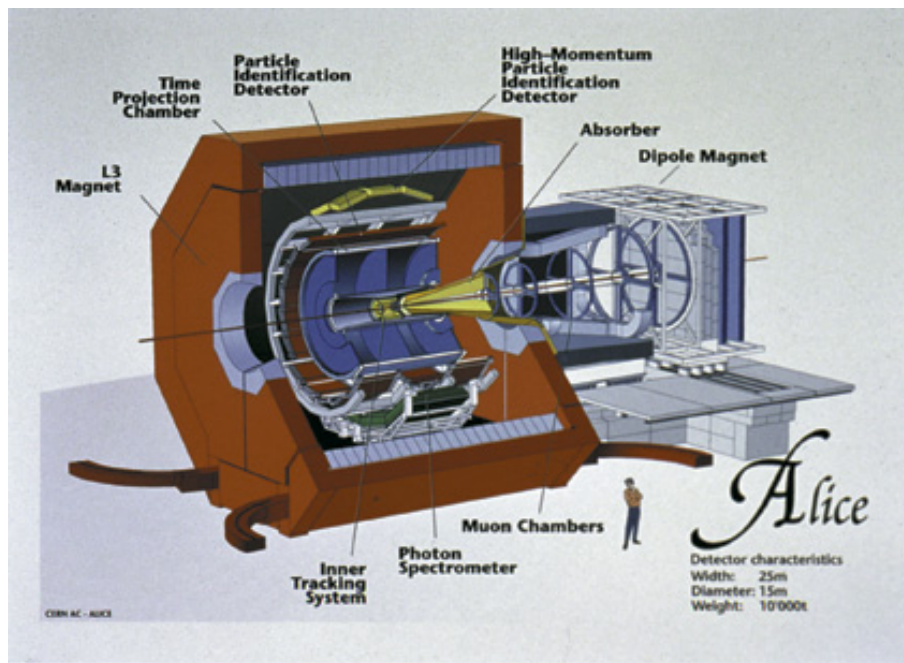
Hlavní motivací experimentu ALICE je studium horké a husté jaderné hmoty vyprodukované v jádro-jaderných srážkách na urychlovači LHC v CERN. Jedním z důležitých způsobů zkoumání vlastností této hmoty je studium produkce částic obsahujících těžké kvarky.

V této práci se zaměříme na studium půvabných mezonů, hlavně mezonu D^0 v rozpadovém kanálu $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$ produkovaném v p-p srážkách při energii 7 TeV. Toto studium je provedené na vzorku simulovaných dat pomocí generátoru PYTHIA.

Kapitola 2

Studium půvabných mezonů

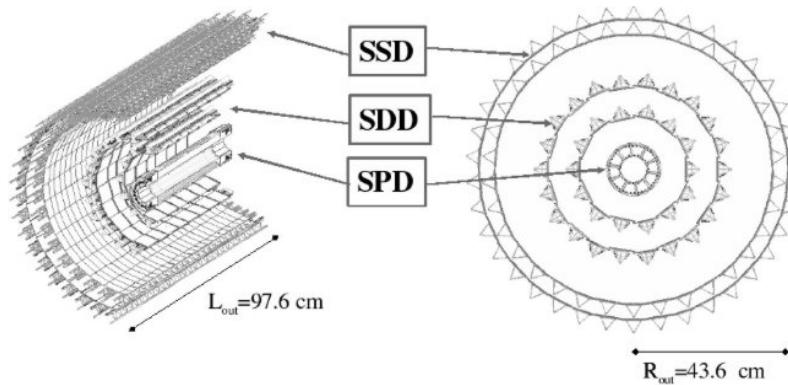
Detektor ALICE byl vyvinut za účelem zkoumání jádro-jaderných srážek. Je to jeden ze čtyř velkých experimentů na urychlovači LHC v CERN (ostatní ATLAS, CMS, LHCb).



Obrázek 2.1: Schéma částí detektoru ALICE

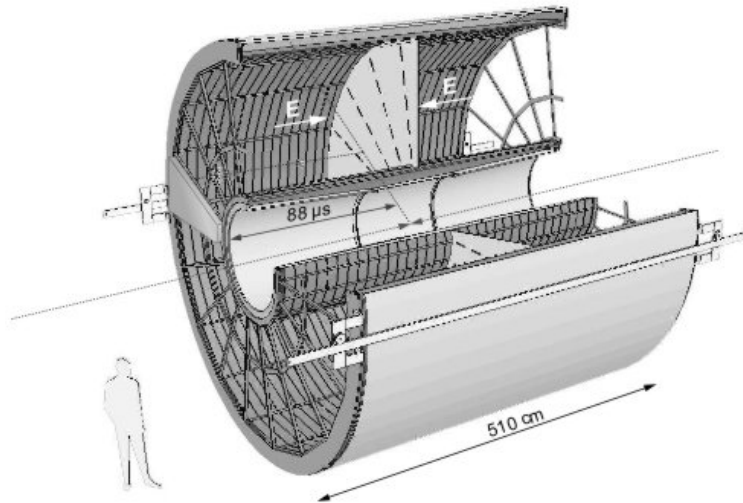
První výsledky měření na ALICE pocházejí z roku 2009 [1]. Dnes se dosahuje energií 7 TeV a do budoucna se plánuje měřit ze srážek p+p při 14 TeV. Na Obr. 2.1 je znázorněno schéma ALICE a hlavních částí.

ALICE, detektor urychlovače LHC (CERN) v Ženevě, se skládá z více detekčních segmentů. Hlavní části, které se používají ke sledování vyprodukovaných částic ve srážce, jsou: ITS (Inner Tracking System), TOF (Time Of Flight), TPC (Time Projection Chamber). Poté následují PHOS (pro detekci fotonů) a detekce hadronů s vysokou hybností- HMPID.



Obrázek 2.2: Inner tracking system- složený z vrstev detekčních systémů: křemíkové stripové a driftové detektory, SSD a SDD a rozlišení polohy je nejlépe zajištěno pixelovým detektorem, SPD

Obr. 2.2 ilustruje ITS, který je složen z šesti vrstev křemíkových detektorů, jež obklopují bod srážky. V pořadí na vzdálenosti od bodu interakce jsou nejprve umístěny 2 vrstvy křemíkových pixelových detektorů (SPD), 2 vrstvy driftových detektorů (SDD) a zbývající 2 vrstvy stripových detektorů (SSD) [2].



Obrázek 2.3: Time projection chamber- časová projekční komora. Technické parametry: rozlišení na hybnost- 1% pro nízké hybnosti do $1\text{GeV}/c$, pro vysoké hybnosti kolem $100\text{GeV}/c$ to činí 10%, rozlišení mezi dvěma dráhami- $5\text{MeV}/c$ na velikost dráhy 20fm , dE/dx - závisí na hustotě částic při vyšších hybnostech, plně azimutální pokrytí.

Časová projekční komora je hlavní částí ALICE na měření drah částic (Obr. 2.3). Jedná se o plynový detektor, kdy průlet nabitých částic ionizuje atomy plynu podél jejich dráhy, tak se uvolní elektrony, které pak putují ke koncům detektoru (elektrodám). Lavinový efekt způsobuje potřebné zesílení měřeného signálu na výstupu. Kladné ionty jsou sebrány na deskové rovině katody (ta sestává z více než půl milionu destiček). Tak dosáhneme funkčnosti proporcionálních komor, ze kterých se dají odečítat souřadnice r a ϕ , zbylá souřadnice z je dopočítána z doby driftu částice. Je to hlavní detektor na určení trajektorií nabitých částic.

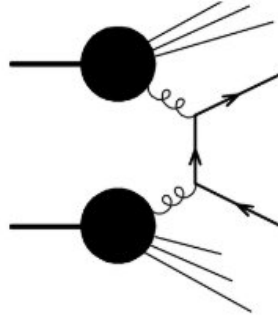
TOF (Time Of Flight) je určen na měření doby letu nabitých částic. Těžší částice potřebují delší dobu, než dosáhnou vnějších vrstev, tudíž se použijí tzv. MRPC, tedy deskové komory s mnoha otvory a časovým rozlišením 100ps. Těchto 160 000 komor pokrývá 150m^2 .

PHOS (Photon Spectrometer) měří teplotu srážky pomocí fotonů z ní vycházející. Fotony zasáhnou olovo-wolframové krystaly (dojde ke scintilaci) a sleduje se scintilační záření.

HMPID je detektor na sledování rychlosti částic za hranicí rozsahu hybnosti (ITS i TPC $p = 600\text{MeV}/c$ a TOF $p = 1, 2-1, 4\text{GeV}/c$). Je to detektor s aktivní plochou 11m^2 , materiálu CsI a typu RICH (Ring Imaging Cherenkov Detector).

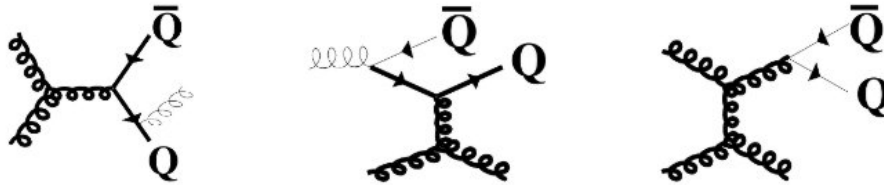
Těžké kvarky

Produkce těžkých kvarků (Obr. 2.4), mezi něž patří b(bottom) a c(charm), lze předpovědět z modelu poruchového QCD, neboť výpočty jsou díky dostatečně velké hmotnosti těchto kvarků již spolehlivé ($m_Q < \Lambda_{QCD}$).



Obrázek 2.4: Produkce těžkých kvarků

Poruchové QCD výpočty se používají v PYTHII a hlavní procesy vzniku těžkých kvarků, které jsou v PYTHII uvažovány jsou znázorněny na Obr. 2.5. Jsou to párová produkce (vlevo), flavour excitace (uprostřed) a gluon splitting (vpravo). Flavour excitace probíhá dvěma způsoby: $qQ \rightarrow qQ$ nebo $gQ \rightarrow gQ$, zatímco gluon splitting jedním: $g \rightarrow Q\bar{Q}$ [3].



Obrázek 2.5: Procesy vzniku těžkých kvarků uvažovaných v PYTHII. Silné čáry představují tvrdé procesy a tenké náležejí počátečním či koncovým stavům partonové spršky

V tabulce na Obr. 2.6 jsou uvedené některé rozpadové kanály půvabných mezonů [4].

particle	mass (GeV)	cTau (microns)	decay	B.R. (%)	res. mass	res. width		
D0	1.865	122.9	K- Pi+	3.8				
			K- Pi+ Pi+ Pi-	7.7				
D+	1.870	311.8	K- Pi+ Pi+ non-res	7.5				
			K*bar ⁰ Pi+ --> K- Pi+ Pi+	1.1			896 MeV	50 MeV
Ds+	1.968	149.9	phi Pi+ --> K- K+ Pi+	2.2	1020 MeV	4 MeV		
			K*bar ⁰ K+ --> K- K+ Pi+	2.5	896 MeV	50 MeV		
Lc+	2.286	59.9	p K- Pi+ non-res.	2.8				
			p K*bar ⁰ --> p K- Pi+	1.6			896 MeV	50 MeV
			Lambda* Pi+ --> p K- Pi+	1.8			1520 MeV	16 MeV

Obrázek 2.6: Půvabné mezony

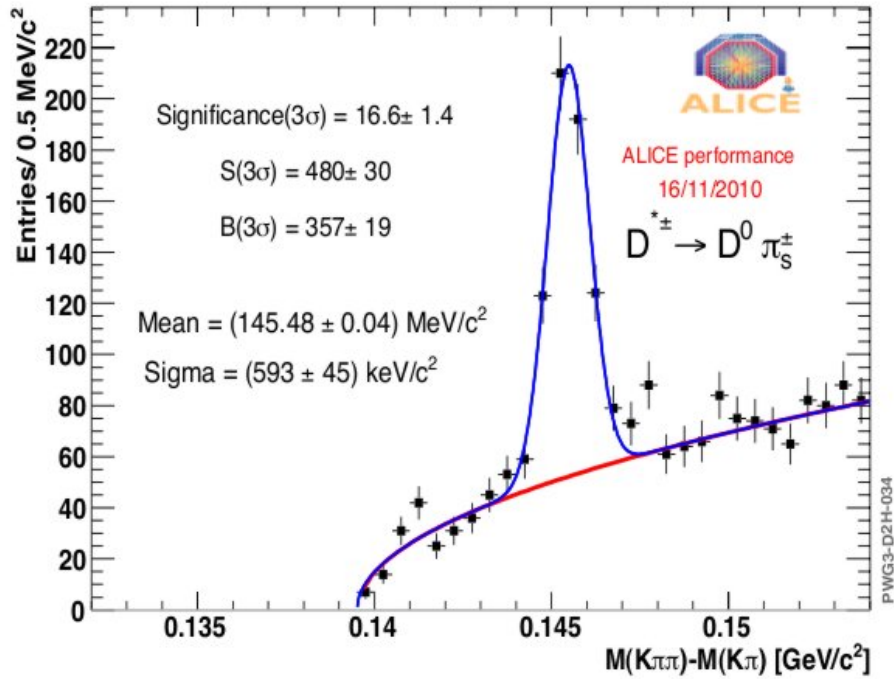
Na Obr. 2.7 jsou univerzální fragmentační poměry půvabných kvarků měřených na experimentu HERA. Citace [6,7] v obrázku zde odpovídají citacím [16][17].

	ZEUS (γp)		Combined	H1 (DIS)	
	$p_T(D, \Lambda_c) > 3.8 \text{ GeV}$		e^+e^- data [7]	[6]	
	$ \eta(D, \Lambda_c) < 1.6$				
	stat.	syst. br.	stat. \oplus syst.	br.	total
$f(c \rightarrow D^+)$	0.217 ± 0.014	$^{+0.013}_{-0.005} \text{ } ^{+0.014}_{-0.016}$	0.226 ± 0.010	$^{+0.016}_{-0.014}$	0.203 ± 0.026
$f(c \rightarrow D^0)$	0.523 ± 0.021	$^{+0.018}_{-0.017} \text{ } ^{+0.022}_{-0.032}$	0.557 ± 0.023	$^{+0.014}_{-0.013}$	0.560 ± 0.046
$f(c \rightarrow D_s^+)$	0.095 ± 0.008	$^{+0.005}_{-0.005} \text{ } ^{+0.026}_{-0.017}$	0.101 ± 0.009	$^{+0.034}_{-0.020}$	0.151 ± 0.055
$f(c \rightarrow \Lambda_c^+)$	0.144 ± 0.022	$^{+0.013}_{-0.022} \text{ } ^{+0.037}_{-0.025}$	0.076 ± 0.007	$^{+0.027}_{-0.016}$	
$f(c \rightarrow D^{*+})$	0.200 ± 0.009	$^{+0.008}_{-0.006} \text{ } ^{+0.008}_{-0.012}$	0.238 ± 0.007	$^{+0.003}_{-0.003}$	0.263 ± 0.032

Obrázek 2.7: Fragmentační poměry půvabných kvarků [5]

ALICE

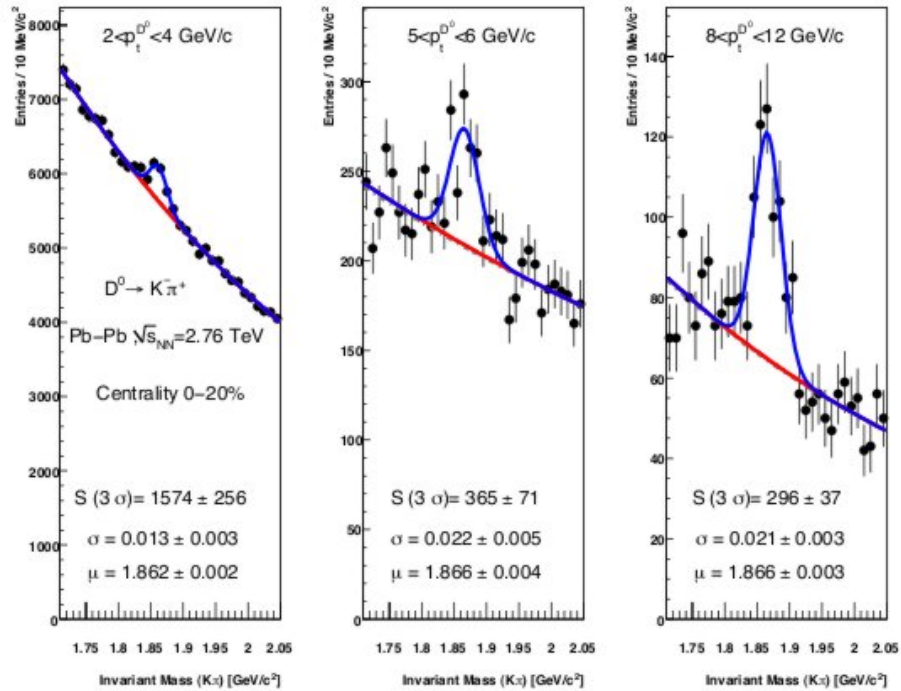
V současnosti se na experimentu ALICE provádí měření D^0 mezonu a to ze srážek Pb+Pb (energie 2,76 TeV) pro analýzu potlačení produkce. Simulovaná data se porovnávají s dosud známými modely. Dále se zjišťuje účinný průřez, který se porovná s výpočty pQCD a poté s extrapolací na p+p srážky pro energii 7 TeV. Rovněž zajímavé je pozorování závislosti totálního účinného průřezu půvabu na energii srážky.



Obrázek 2.8: Analýza pro invariantní hmotnost D^* z rozdílu hmot $M(K\pi\pi) - M(K\pi)$ [6]

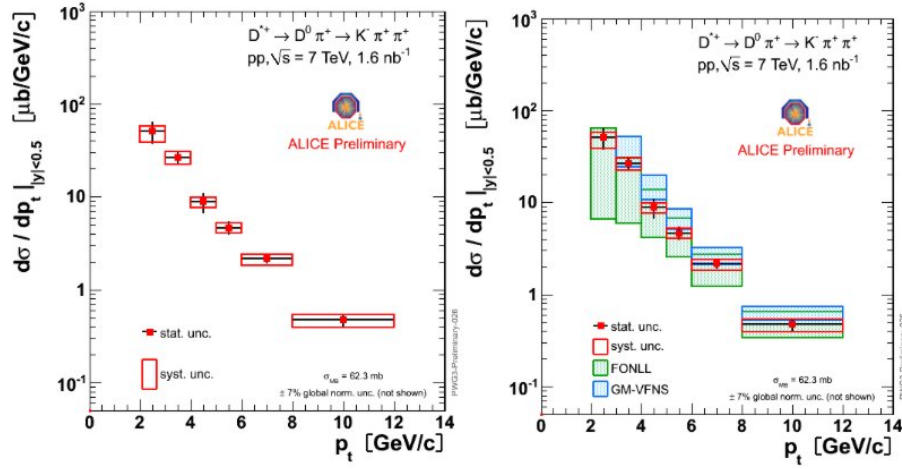
Na Obr. 2.8 je znázorněn signál z mezonu D^* jako výsledek po provedení výběrových cutů z rozdílu hmotností $M(K\pi\pi) - M(K\pi)$ [6]. Poloha píku odpovídá v rámci chyb hodnotě hmotnosti pionu. Jak se očekává při této analýze, tento signál je právě $D^{*\pm}$. Šířka píku činí $593 \pm 45 \text{ keV}/c^2$.

Podmínky: p+p- srážky při energii $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$, $0.85 \cdot 10^8$ eventů, $p_T > 2 \text{ GeV}/c$ pro D^* .



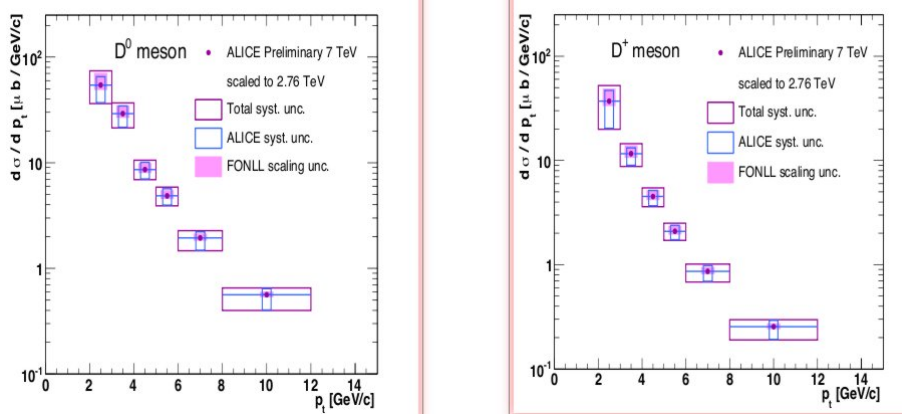
Obrázek 2.9: Analýza pro invariantní hmotnost D^0 pro různé rozsahy hybností [18]

Obr. 2.9 je signál mezonu D^0 v kanále $K^+ + \pi^-$ z Pb+Pb srážek při energii 2,76 TeV. Signál je rekonstruován pro 3 p_T rozsahy (2-4, 5-6, 8-12) GeV/c pro 0-20% centrální srážky.

Obrázek 2.10: Účinný průřez D^*

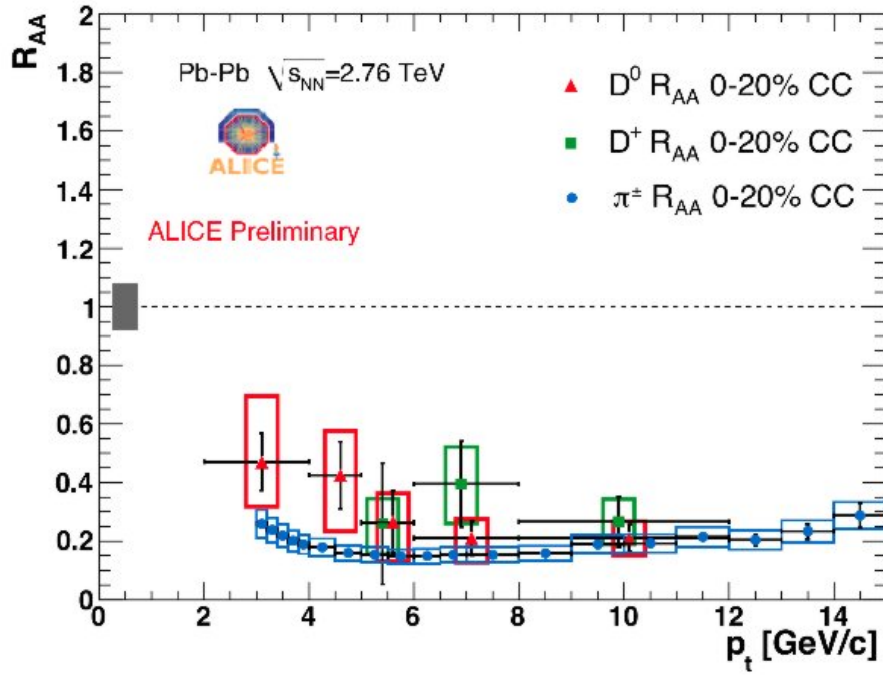
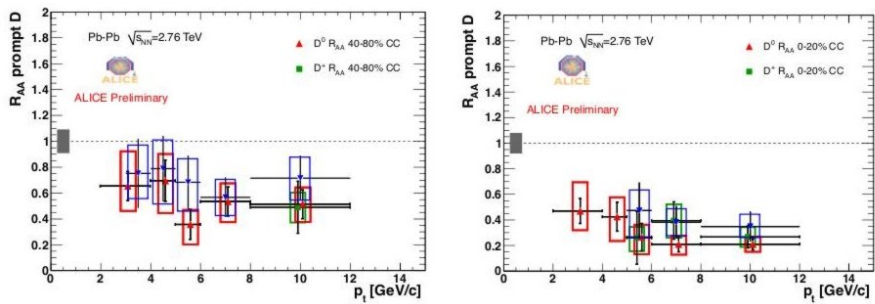
Účinný průřez D^* byl vyhodnocen pro rozmezí příčných hybností $p_T [2, 12] \text{ GeV}/c$. Vlevo na Obr. 2.10 je závislost účinného průřezu na příčné hybnosti a vpravo je porovnání mezi experimentálními body a modely FONLL a GM-VFNS.

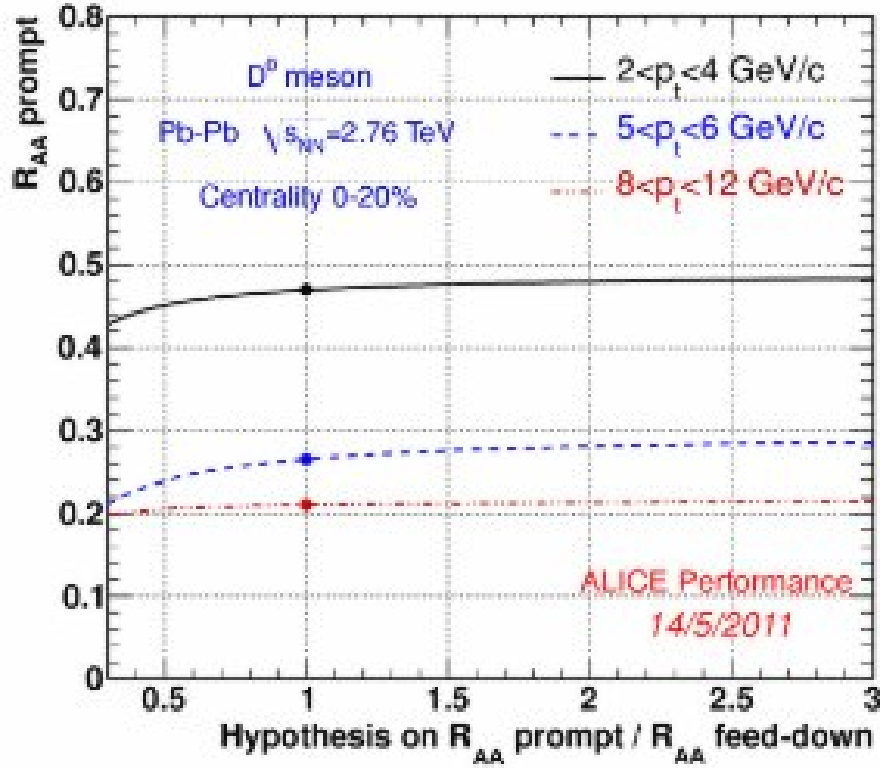
Tedy na základě precizního systému identifikace částic na ALICI nám experiment poskytuje údaje o účinném průřezu ve velkém rozsahu p_T , zde pro luminositu 1.6 nb^{-1} [6].

Obrázek 2.11: Účinný průřez D^* a D^0

Na Obr. 2.11 vidíme porovnání účinných průřezů pro D^* a D^0 , přičemž obojí se simulovalo při škálování energií $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ na $\sqrt{s} = 2.76 \text{ TeV}$ pro ALICI. Obdélníky znázorňují systematické chyby celkové, z ALICE a FONLL

škálování. [7]

Obrázek 2.12: Modifikační faktor pro D^+ a D^0 při centrálních srážkách a porovnání s pionyObrázek 2.13: Modifikační faktory D^0 a D^+ při centrálních srážkách a periferních srážkách



Obrázek 2.14: Potlačení D^0 při centrálních srážkách pro různé rozsahy hybností

Další výsledky ukazují na silné potlačení pro otevřený půvab v Pb-Pb srážkách a to o faktor 4-5 při $p_T > 5 \text{ GeV}/c$. U nižších příčných hybností toto potlačení klesá.

Na Obr. 2.12 jsou ukázány modifikační faktory R_{AA} při centrálních srážkách (centralita 0 – 20%) pro D^0 , D^+ a piony. Následující obrázek ukazuje rozdíl pro modifikační faktory mezi periferálními a centrálními srážkami (Obr. 2.13). Na Obr. 2.14 je pak potlačení pro různé příčné hybnosti a ilustrována skutečnost, že potlačení je méně výrazné při nižších p_T . [8]

Modifikační faktor R_{AA} je definován jako poměr počtu eventů různých hodnot p_T pro Au+Au srážky normalizovaných na počet eventů p+p srážek, přenásobeným počtem srážek N .

$$R_{AA} = \frac{yield(Au + Au)}{yield(p + p) \times N_{coll}} \quad (2.1)$$

Kapitola 3

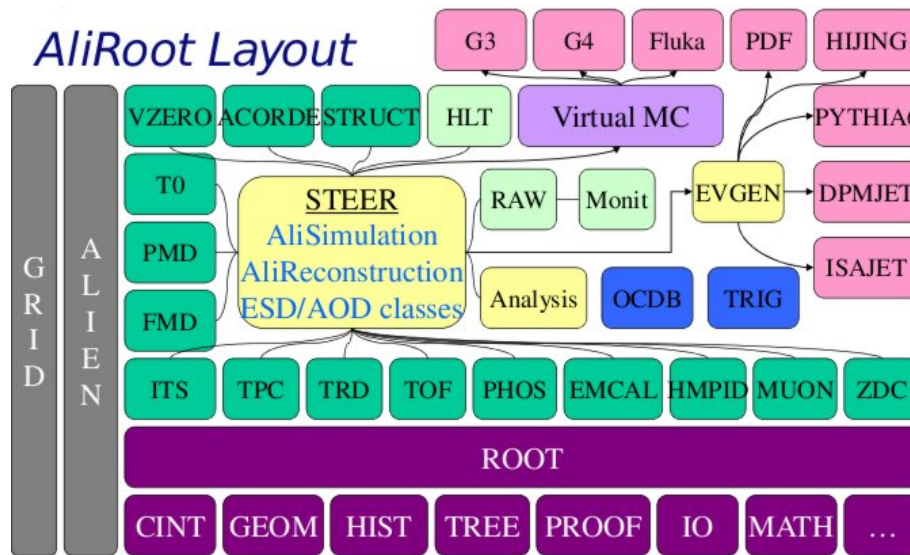
Analýza simulovaných p+p srážek při energii 7 TeV

Pro studium simulovaných srážek byl jako generátor zvolen program PYTHIA, která byla vyvíjena předešlím pro urychlovače LHC a Tevatron. Je to generátor eventů pro velký počet fyzikálních procesů. PYTHIA obsahuje teorii a modely pro tvrdé a měkké procesy, partonové distribuce, mnohonásobné interakce a rozpady [13].

Aliroot je čistě Alicovské offline prostředí pro rekonstrukci, simulaci a analýzu dat. Používá systém ROOT (zde verze v5-28-00a) a GEANT 3.21. Práce probíhá v jazyce C++. Existují také příručky [9], které jsou cestou k vytvoření celkového kinematického obrazu srážek, to znamená vytvoření histogramů jednotlivých fyzikálních veličin v této simulaci.

V této práci byla použita verze PYTHIA8 v8-135. Pro simulaci se použily vygenerované srážky verze LHC10d1, kde počet srážek činil $6 \cdot 10^9$. Ty se zkopírovaly na sunrise.fjfi.cvut.cz a poté bylo vytvořeno analyzační makro. V příručkách se dají některé příklady takových maker stáhnout, poté je lze upravovat dle potřeby. Bude předtím vhodné objasnit některé pojmy.

Na Obr. 3.1 vidíme schéma nástrojů používaných pro simulaci, rekonstrukci a analýzu. Ukazuje se zde, co lze vytvářet za soubory v ROOTU (např. Trees, Histos), dále pro simulaci lze využít HLT a virtual MC. Příklady jako EMCAL, PHOS, ITS apod., jsou detektory, z nichž lze získávat digitalizovaným data.



Obrázek 3.1: Schéma funkčnosti a souvislosti nástrojů pro simulaci a analýzu

Pracovní jazyk

- AliAODMCParticle.h- hlavičkový soubor, ve kterém jsou kinematické proměnné
- Daughter- dceřinná částice, která vznikne při rozpadu mateřské částice
- Histogram- graf, na ose X bývá fyzikální veličina, na ose Y počet (dílejší počet ze všech eventů należící k dané hodnotě veličiny). Histogram slouží ke statistickému rozboru (střední hodnota, rozptyl), nalezení rozdělení a následnému fitování funkcí (např. Gaussova křivka).
- Konstruktor a destruktork- v programu jazyka C++ se používá pro objektové programování, jehož třídy se dělí na private a public.
- Mc Particles- částice Monte Carlo, tj. takové, které jsou nabírány při simulaci.
- Mother- mateřská částice, která se má rozpadat
- PdgCode- číslo částice, které je k ní přiřazeno (např. 321 znamená Kaon), pozná se z kódu, který se člení i podle toho, zda se jedná o mezon, baryon atd. (viz stránky Alice, je tam seznam). Hledají se jím daughters.
- Počet binů a rozsah- záležitost týkající se X-ové osy histogramu. Čím větší počet binů, tím jemnější je rozlišení na ose, avšak někdy může nastat problém s fitováním, tedy je dobré volit kompromis. Rozsah se nastavuje

KAPITOLA 3. ANALÝZA SIMULOVANÝCH P+P SRÁŽEK PŘI ENERGII 7 TEV²

tak, aby nedošlo k podtékání či přetékání výstupů. Máme-li více histogramů, s nimiž budeme operovat najednou (např. jejich dělení), pak musí mít všechny stejný počet binů a rozsah.

- Počet eventů- počet výstupů v simulaci či analýze, v histogramu pod názvem „Entries”.
- Proměnná- fyzikální veličina, která je už někde definována formulí, jinak se musí vzorec doplnit, k čemuž slouží „TMath:”
- Simulace a Rekonstrukce- pro získání efektivity rekonstrukce potřebujeme nasbírat simulované výsledky (trajektorie). Poté se ptáme, zda dráhy (Tracks) odpovídají simulovaným (přes GetLabel). Pokud ano, dostáváme rekonstruované výsledky. Rekonstruované trajektorie vznikají na základě informací z detektoru (poloha atd.). Algoritmem se dají dohromady pomocí programu, ten vytvoří objekt a do něj se vyplní vlastnosti.
- Tracks- jednotlivé dráhy z rozpadu částic

Pro práci se soubory .C (makra) používáme cykly, podmínky a iterační metody (for, if, i++). Soubor .C je spouštěcí. Používáme-li tzv. „headerů” (.h soubory), pak cykly, podmínky a operace zařadíme do hlavní části (.cxx souboru). Výsledkem je snadnější orientace v programu. Příklad takového souboru viz Obr. 3.2 a 3.3.

```
bool_t dau0id_found=kFALSE;
bool_t dau1id_found=kFALSE;
for (Int_t iTracks = 0; iTracks < lEvent->GetNumberOfTracks(); iTracks++) {
//cout << iTracks << endl;
    AliAODTrack* track = lEvent->GetTrack(iTracks);
//cout << track << endl;
    if (!track) {
        //if(track->GetID() == 421) //421 je ID mezonu
        Printf("ERROR: Could not receive track %d (mc loop)", iTracks);
        continue; //vybrat takove D0 ke kterym lze najit obedve drahy, tj. aby oba produkty byly
nalezeny v rekonstruovanych drahach tj.dcery
//pak se udela detekcni ucinnost velicin tj. pomer reco ku simul.
    }

    if( dau0id==track->GetLabel() )
    {
        dau0id_found=kTRUE;
        cout << "nasla prvni" << endl;
        //zapsat energie a hybnosti do vlastni promenne KaonE
        KaonE = track->E();
    }
}
```

Obrázek 3.2: Použití Labelu

KAPITOLA 3. ANALÝZA SIMULOVANÝCH P+P SRÁŽEK PŘI ENERGII 7 TEV²³

```
// loop over mc particles, inicializace je prirazeni hodnoty uz pri deklaraci promenne
Int_t nMC = arrayMC->GetEntriesFast();
Int_t Mcindex=0;//teto promenne priradime 0 a pak se k ni pri kazdem nalezeni D0 pricte 1 a po
skonceni cyklu Mc castice jich bude pocet D0
for(Int_t iMC = 0; iMC < nMC; iMC++) {
    AliAODMCParticle* Mc = (AliAODMCParticle*) arrayMC->At(iMC); //index Mc castice je iMC
    if (!Mc) continue;

    fHistPt->Fill( Mc->Pt() );
    Int_t McPdg = Mc->PdgCode();
        if ((TMath::Abs(McPdg)) != 421) continue; //check if it is a D0
        if (Mc->GetNDaughters() != 2) continue; //two body decay
    Int_t dau0id = Mc->GetDaughter(0); //index of daughters in mc a predtim nez priradim
indexy a zacnu se na ne ptat, tak si musim overit jestli je rozpad dvoucasticovy
    Mcindex++;
    Int_t dau1id = Mc->GetDaughter(1);
    AliAODMCParticle* dau0 = (AliAODMCParticle*) arrayMC->At(dau0id); //daughter particles classes
    AliAODMCParticle* dau1 = (AliAODMCParticle*) arrayMC->At(dau1id); //dat do .cxx
    Int_t dau0Pdg = dau0->PdgCode();//promennou vytvorit, ktera mi rekne kolik je tam D0 pres Mc
castice a cislem plneni do histogramu
    Int_t dau1Pdg = dau1->PdgCode();
    if ( ((TMath::Abs(dau0Pdg)) != 321 || (TMath::Abs(dau1Pdg)) != 211) && ((TMath::Abs(dau1Pdg)) !=
321 || (TMath::Abs(dau0Pdg)) != 211) ) continue;
```

Obrázek 3.3: Použití kódu pro nalezení dcer

Na Obr. 3.2. je úsek makra, který začíná proměnnou Bool, kde dau0id značí první dceřinnou částici, zde kaon. Této částici byl předtím přiřazen PdgCode (321). Hodnota proměnné je nastavena na kFALSE (částice nenalezena). Poté následný cyklus "for" zkouší po každém eventu přiřadit počet drah (GetNumberOfTracks) a další podmínkou "if" se zajistí přiřazení indexu (iTracks). Druhé "if" patří pro přiřazení rekonstruované částice na simulovanou. Tedy se ptáme, zda rekonstruovaná dráha první dcery odpovídá dráze simulované (GetLabel). Pokud ano, proměnná se přenastaví na kTRUE a lze vypsát počet těchto drah.

Pokud požadujeme nalezení rekonstruovaných drah obou dcer, pak přidáme druhou proměnnou Bool a nakonec splněním všech podmínek získáme počet rekonstruovaných D-mezonů.

V Obr. 3.3 je ukázka použití PdgCode na nalezení simulovaných D-mezonů (421) a dcer- kaonu (321) a pionu (211).

Knihovny

Základní role Alirootu je rekonstruovat a analyzovat data pocházející ze simulací i skutečných interakcí a je tak dobrým nástrojem, jak simulovat reálný experiment od samotné srážky až po data přístupné pro uživatele. Každý takový krok experimentu odpovídá ve virtuální podobě tzv. knihovněm.

- Srážky částic- simulovány pomocí Monte-Carlo generátorů eventů (PYTHIA, HIJING, GevSim)[10][11]. Simulace produkují soubor částic v koncovém stavu o určitém rozdělení hybnosti a rapidity.
- Částice emitované z primary vertexu interagují s okolní hmotou a materiálem detektoru. Tyto interakce jsou ilustrovány pomocí transportního kódu (Geant). Rozpady částic, tvorba párů, ionizace, mnohonásobný rozptyl a deponovaná energie je zahrnuta do systému v tomto kroku. Tudíž Geant nepropaguje jen částice vzniklé při expanzi fireballu, ale také nové

částice vzniklé během interakce s materiálem. Částice jsou sledovány do doby opuštění detektoru.

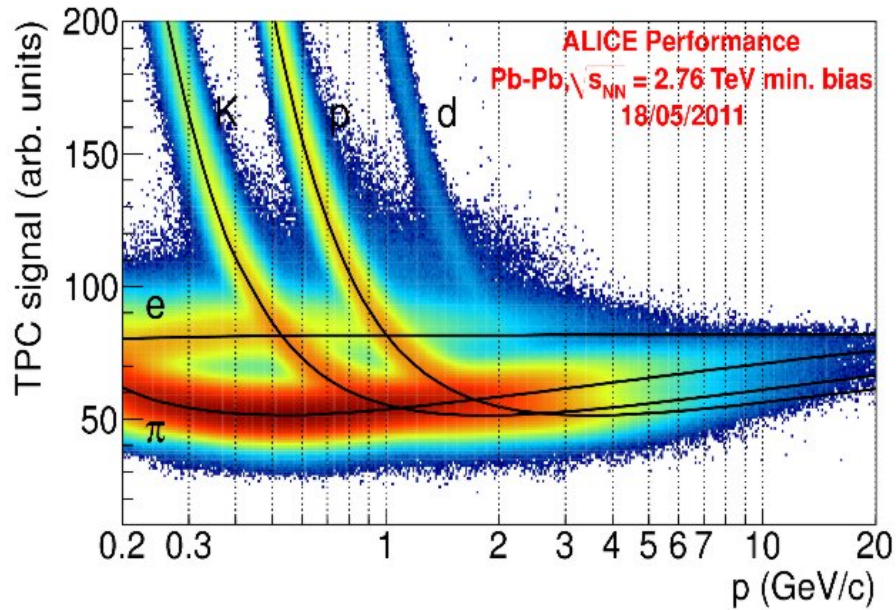
- První dva kroky pro simulaci jsou uskutečněny pomocí dvou vnějších knihoven: generátoru eventů a transportnímu kódu. Energie deponovaná v citlivých částech detektoru je převedená na tzv. detekční odezvu (hit).
- Detekční odezva je poté uvedena do formy pro elektronický výstup. Tento proces je umožněn pomocí digitalizačního softwaru. Výstup už je velmi blízký reálným datům jdoucím přímo z detektoru.
- Poslední krok je rekonstrukce eventů. Rekonstrukce bodů v prostoru umožňuje rekonstruovat celé dráhy a vypočítat hlavní vlastnosti eventů (multiplicitu, centralitu nebo primary vertex). Toto je uloženo ve formátu AliESD.

Rekonstrukce dráhy

V této části se budeme věnovat hledání drah částic a určení vertexu (vrcholu) srážky během simulace. Hledání drah probíhá v centrální části detektoru ALICE jako TPC a ITS, přičemž se používá tzv. Kalman filtr určený pro studium fyziky vysokých energií. Je to účinná metoda pro rozlišování drah a jejich rekonstrukci. Dá se tak jednoduše zjistit ztráta energie a mnohonásobný rozptyl v materiálu.

Rekonstrukce sestává z iteračního algoritmu: nalezneme track (dráhu) v TPC ve směru do středu detektoru (ITS). Tento track musí odpovídat odezvě na ITS (vnější vrstva) a dále ve směru do nejnvnitřnější vrstvy (pixel layer). Poté se informace odešle nazpět, refituje se od ITS až po TPC. Nakonec se hledá odpovídající track v TRD a TOF pro identifikaci částice.

Trajektorie částic je popisována pěti parametry. Dva z nich ukazují souřadnice ve směru osy z , tedy polohu a osa z probíhá ve směru svazku. Zbylé tři ukazují polohu v rovině xy .



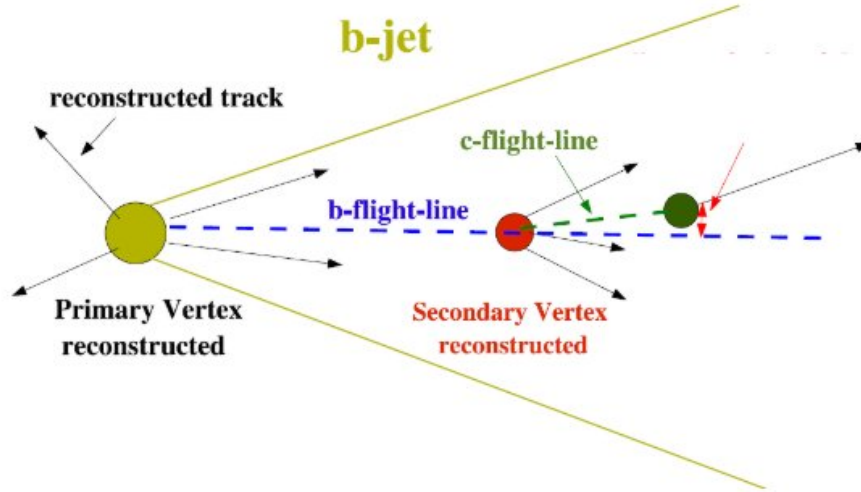
Obrázek 3.4: Signál z TPC pro kaony, piony, protony a elektrony

Obr. 3.4 ilustruje hledání jednotlivých částic, které se dají rozeznat ze signálu TPC, detektoru, který měří ztrátu energie částic. Jedná se o výsledek pozorování z Pb+Pb srážek při energii 2,76 TeV.

Primary vertex

Rekonstrukce polohy primárního vertexu srážky je uskutečněna pomocí křemíkového pixelového detektoru (SPD), což jsou první dvě vrstvy ITS.

Simulace ukazují, že rozlišení primárního vertexu závisí na jeho poloze, hustotě částic a magnetickém poli. Mrtvé pixely v detektoru nikterak výrazně rozlišení neovlivňují. Na Obr. 3.5 je znázorněn takový vertex.



Obrázek 3.5: Schéma rekonstruovaného vertexu a drah

Rekonstruování vertexu slouží k vylepšení tracků, identifikaci dlouho žijících částic a je požadováno při získání úplné kinematické rekonstrukce eventů.[12]

Vertexy jsou body, odkud vycházejí dráhy a kromě primárního vertexu ještě existuje tzv. sekundární vertex (viz Obr. 3.5). Sekundární vertex pochází od dlouho žijících částic produkovaných během srážky v primárním vertexu. Vertexy se hledají až po rekonstruování drah, poté se nafitují Gaussovou křivkou.

Selekční kritéria

Jako první krok pro výběr rozpadového kanálu se provede vygenerování signálu a pozadí eventů. Cuty se optimalizují za cílem získání největší možné signifikance $S/\sqrt{S+B}$ v rozsahu invariantní hmotnosti $|M_{inv} - M_{D^0}| < 1\sigma$ [15].

První výběr je realizován na jednotlivých drahách před aplikací vyhledávacího algoritmu pro sekundární vertex. Jako nejlepší kombinace cutů pro p_T spektrum D^0 mezonů k $3.38 GeV/c$ je dána: $p_{Tcut,K} = 1.25 GeV/c$ a $p_{Tcut,\pi} = 0.75 GeV/c$ [14].

$d_0 = 0.032 cm$ označuje nejkratší vzdálenost tracku a primárního vertexu po zakřivené ploše. Tímto výběrem se dosáhne redukce kombinatorického pozadí dupletů na event z počtu 10^{10} na 10^6 . Druhý výběr je pořízen před aplikací vyhledávacího algoritmu, kdy zvolíme oříznutí vzdálenosti mezi primárním a sekundárním vertexem δ od opačně nabitých tracků.

Následuje vyhledávací algoritmus, jenž funguje na principu disperze tracku: $\sigma^2 = \sum_{i=1,2} (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2$. Nakonec se do úvahy pro výběr zahrnují následující proměnné:

- Vzdálenost mezi primárními a sekundárním vertexy δ , kde signálové du-

plety se vyznačují většími vzdálenostmi. Plyne to ze skutečnosti, že pocházejí z rozmístěných vrcholů rozpadu.

- Maximální příčná hybnost pocházející z jednoho dupletu (dva tracky, dvoučásticový rozpad), zde $Max \{p_{TK}, p_{T\pi}\}$.
- $\cos\theta_{point}$, kde θ_{point} je úhel ukazující směr rekonstruované hybnosti D^0 po zakřivené ploše a přímce spojující primární a sekundární vertex. Pokud nalezený vrchol náleží rozpadovému vrcholu D^0 , pak $\theta_{point} = 0$ a $\cos\theta_{point} = 1$.
- Součet čtverců dopadových parametrů drah vzhledem k primárnímu vertexu $s^2 = \sum_{i=1,2} d_{0,i}^2 = d_{0,K}^2 + d_{0,\pi}^2$.

Kapitola 4

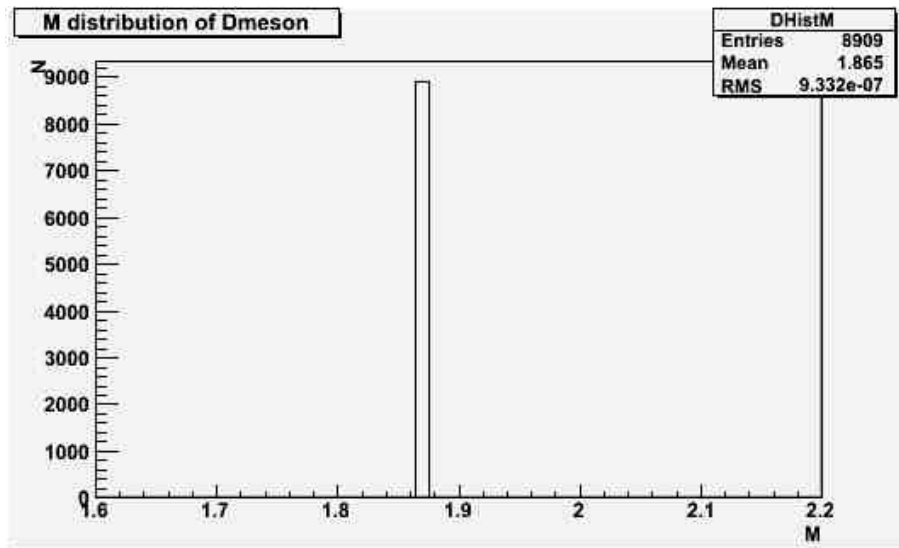
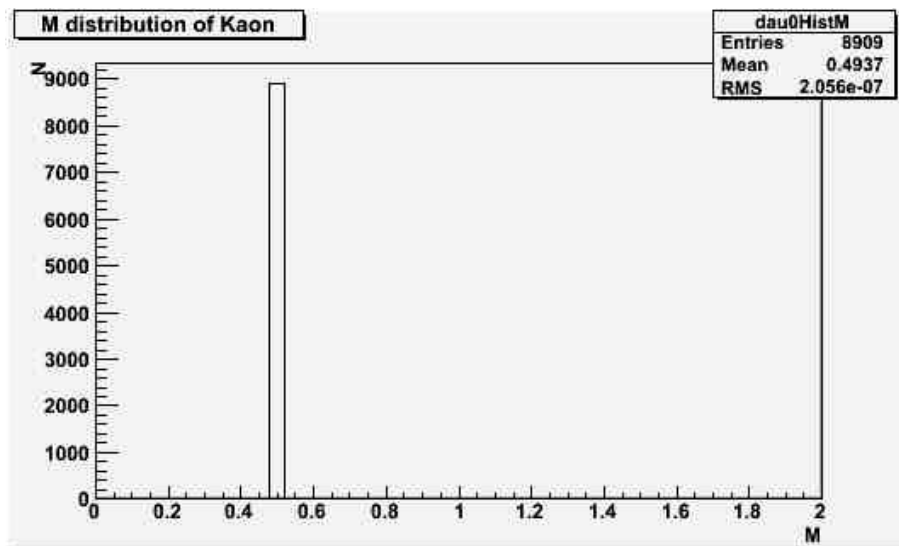
Výsledky

Základní studovanou částicí je D^0 v rozpadovém kanálu $D^0 \rightarrow K^+ + \pi^-$. V této kapitole nejprve ukážeme simulované výsledky pro kinematiku mateřské částice D^0 -mezonu a jejich dcer- kaonu a pionu. Poté si zavedeme definice veličin jako je invariantní hmota, příčná hybnost či rapidita.

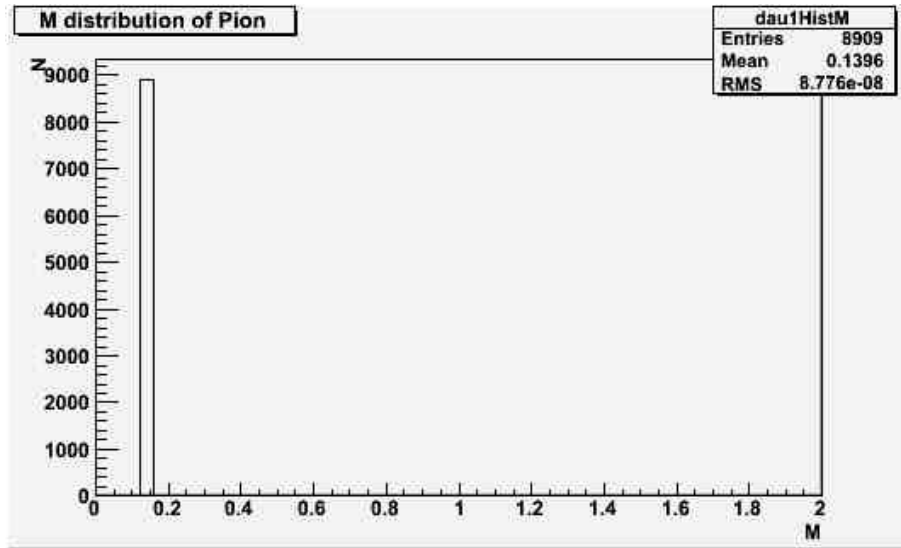
Nakonec se budeme věnovat rekonstrukcím drah a porovnávání mezi Monte Carlo částicemi a detekcí částic přes rekonstruované dráhy, z čehož by měla vyjít efektivita rekonstrukce.

Simulované výsledky

Na Obr. 4.1 až 4.3 vidíme hmotnost D^0 -mezonu a hmotnosti dcer (kaonu a pionu), tak jak jsou generovány v PYTHII.

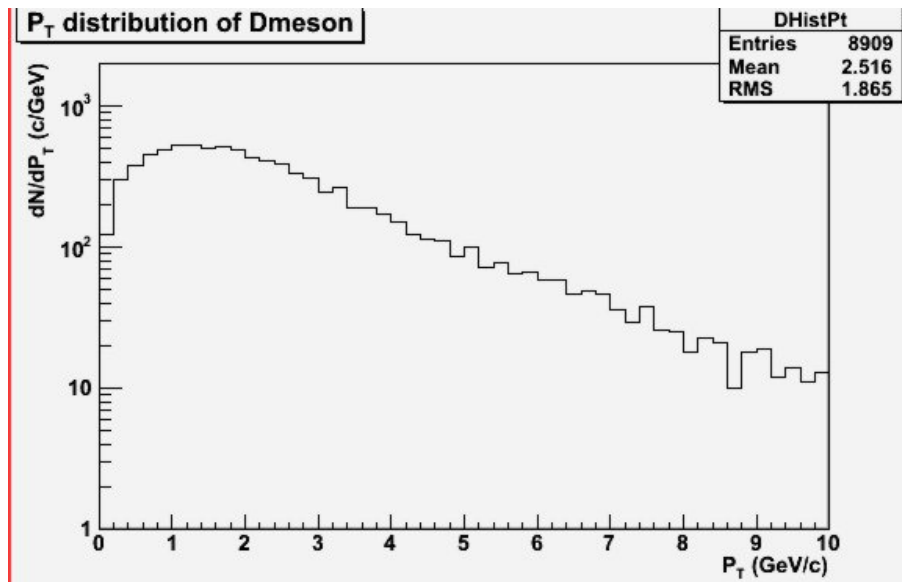
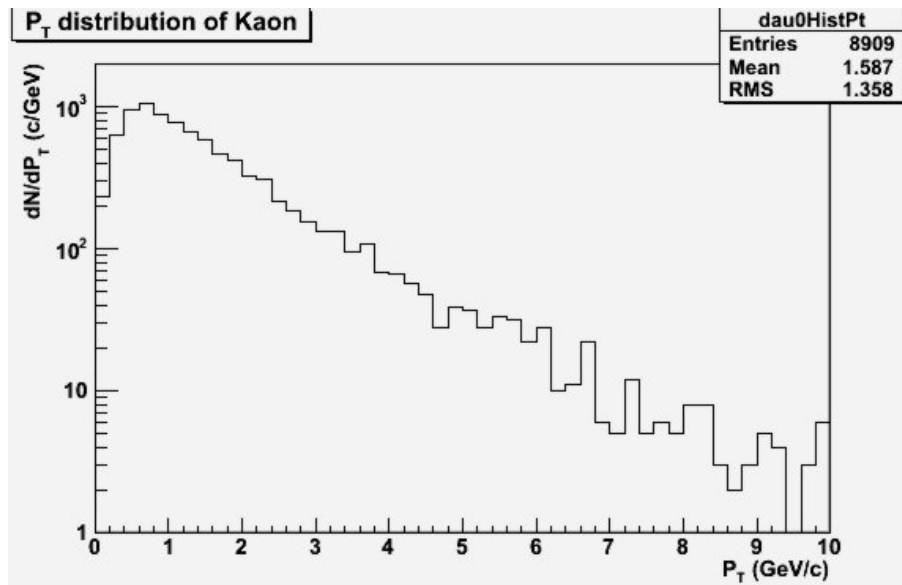
Obrázek 4.1: Hmotnost D^0 -mezonu

Obrázek 4.2: Hmotnost kaonu

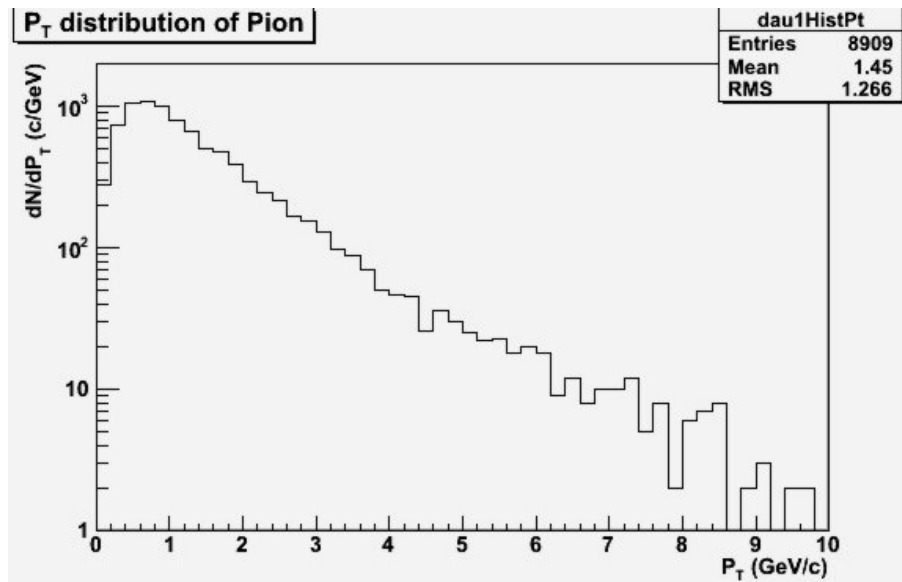


Obrázek 4.3: Hmotnost pionu

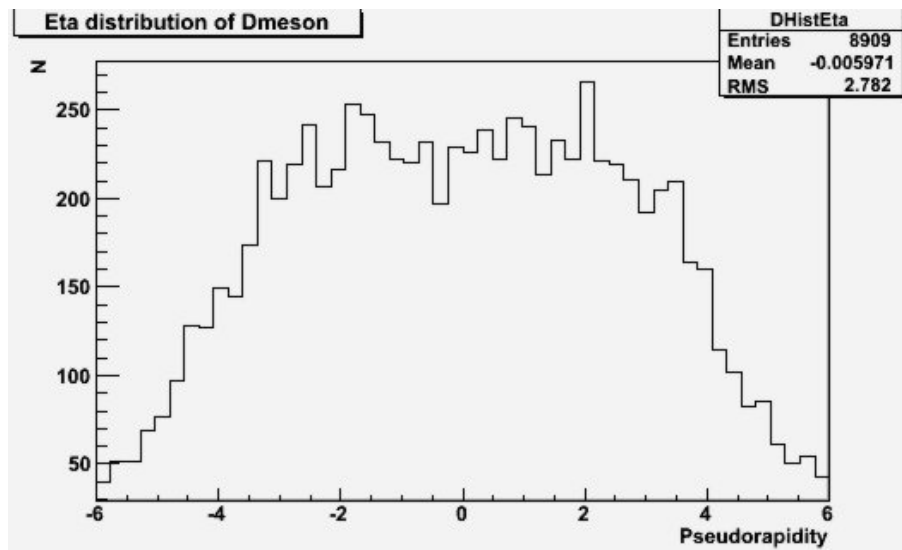
Obr. 4.4 až 4.12 jsou tu pro zajímavost, aby bylo vidět rozdělení hybnosti, pseudorapidity a azimutálního úhlu. Tyto simulace nesou velmi podobné výsledky jak pro D^0 -mezon, tak pro kaon i pion. Plyne z toho, že nejvíce částic má hybnost kolem 2 GeV/c, nejvíce jich nalezneme v midrapiditě nebo kolem nulové pseudorapidity, přičemž toto ale platí slaběji pro D^0 -mezon jakožto nejtěžší (a mateřskou) částici z těch, které pozorujeme. Pro azimutální úhel je střední hodnota blízká hodnotě π , nicméně částice jsou viděny v celém rozmezí detekce 2π zhruba stejně.

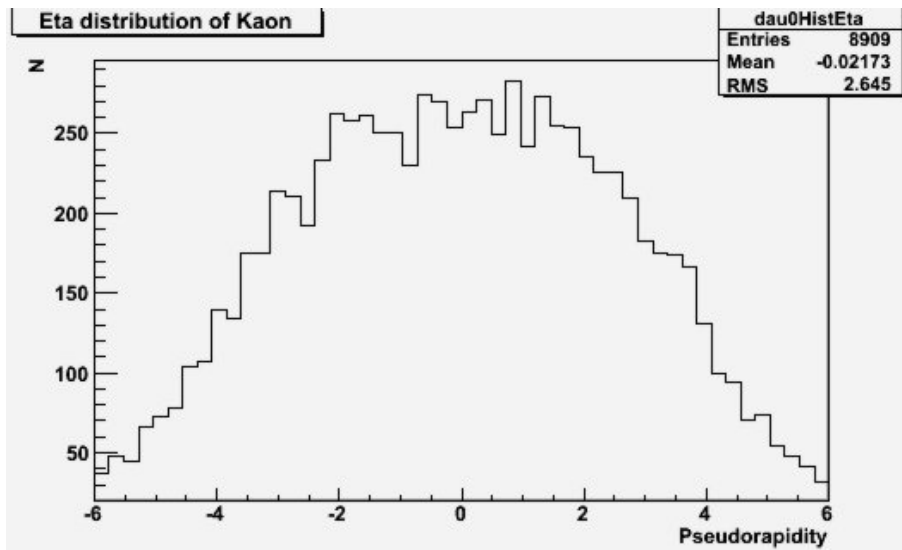
Obrázek 4.4: Hybnostní rozdělení D^0 -mezonu

Obrázek 4.5: Hybnostní rozdělení kaonu

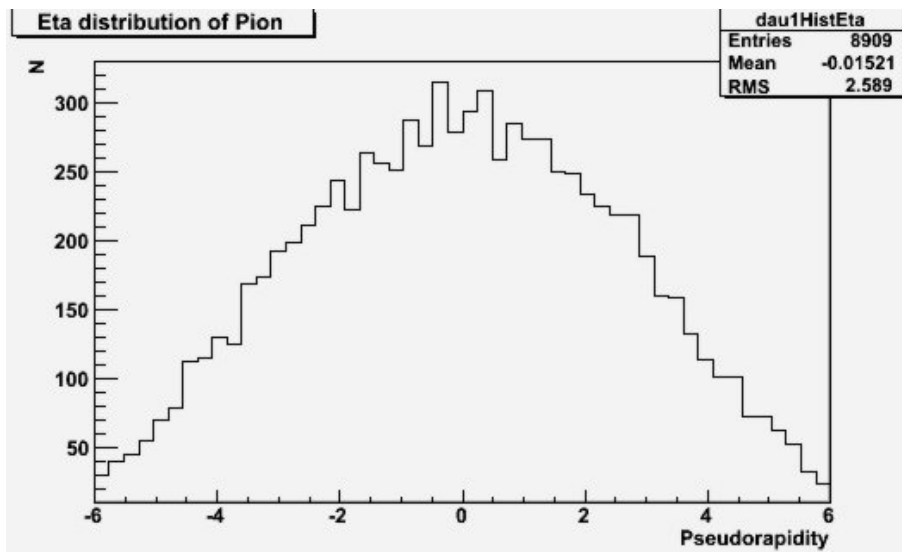


Obrázek 4.6: Hybnostní rozdělení pionu

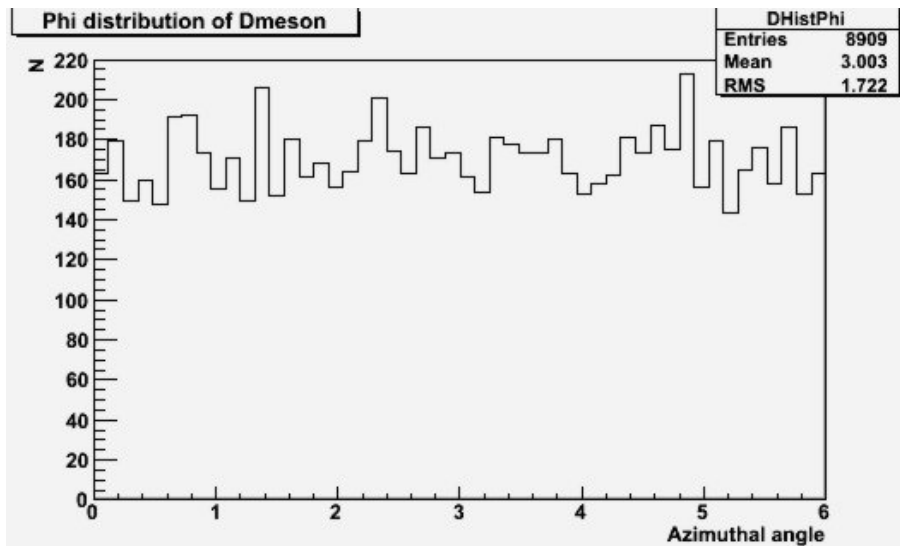
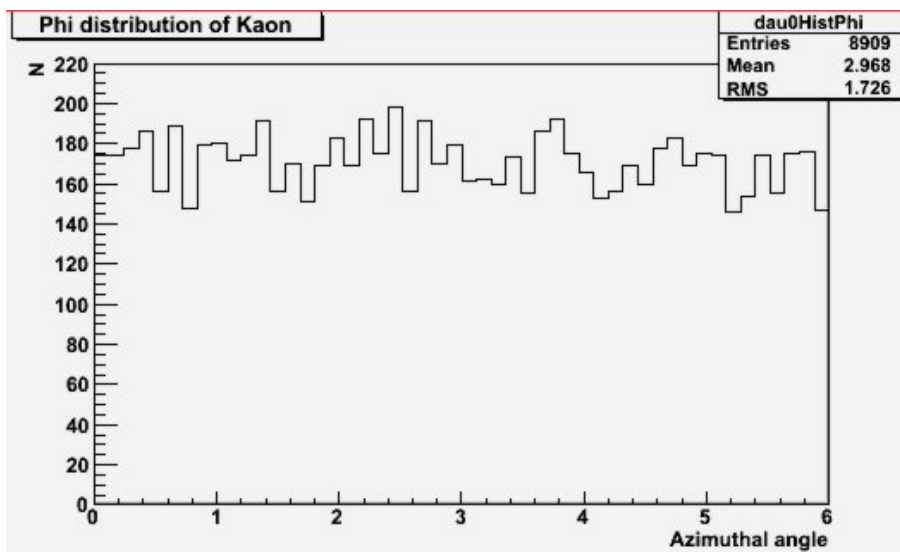
Obrázek 4.7: Pseudorapiditní rozdělení D^0 -mezonu



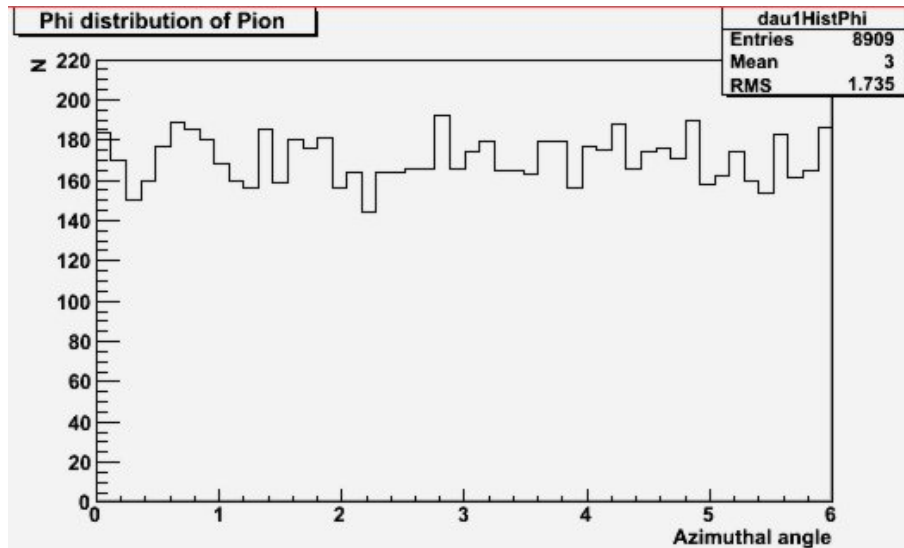
Obrázek 4.8: Pseudorapitní rozdělení kaonu



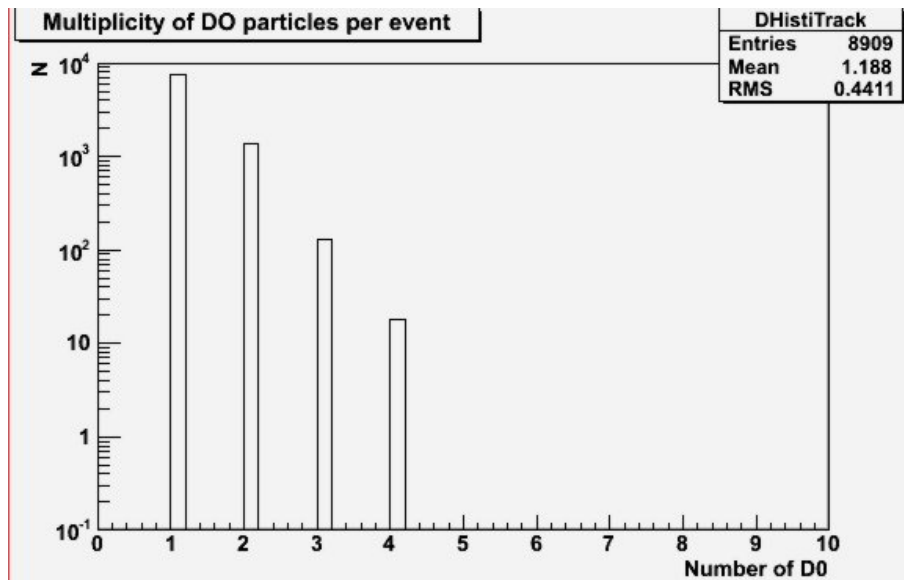
Obrázek 4.9: Pseudorapitní rozdělení pionu

Obrázek 4.10: Azimutální úhlové rozdělení D^0 -mezonu

Obrázek 4.11: Azimutální úhlové rozdělení kaonu



Obrázek 4.12: Azimutální úhlové rozdělení pionu

Obrázek 4.13: Četnost eventů podle počtu D^0 v nich obsažených

Obr. 4.13 znázorňuje počet eventů, ve kterých se našlo po jedné D^0 , počet eventů, kde byly vidět dvě D^0 a počet eventů po třech a čtyřech D^0 -mezonech.

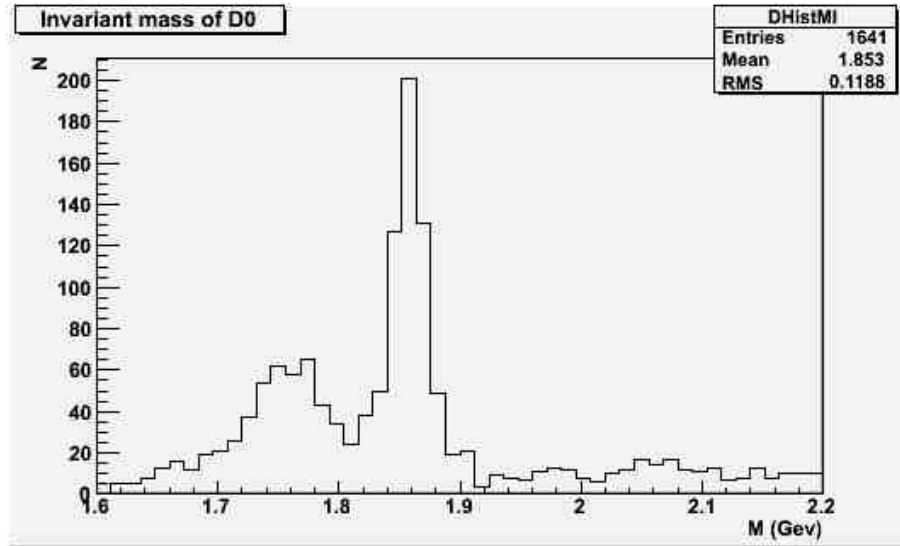
Definice kinematických veličin

V simulaci a rekonstrukci se používaly hlavně tyto veličiny.

- invariantní hmotnost $M_{inv} = \sqrt{E^2 - \vec{P}^2}$
- příčná hybnost $p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$
- rapidita $Y = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{E^2 + p_z^2}{E^2 - p_z^2}\right)$

Záleží zde na tom, zda počítáme výsledky pro mateřskou či dceřinné částice. Pro mateřskou částici platí uvedené vztahy přesně tak, jak jsou napsány. Pro dceřinné už vycházíme z původní částice, tedy musíme uvažovat celkovou energii (zde součet obou částic) a totéž pro složky vektoru hybnosti.

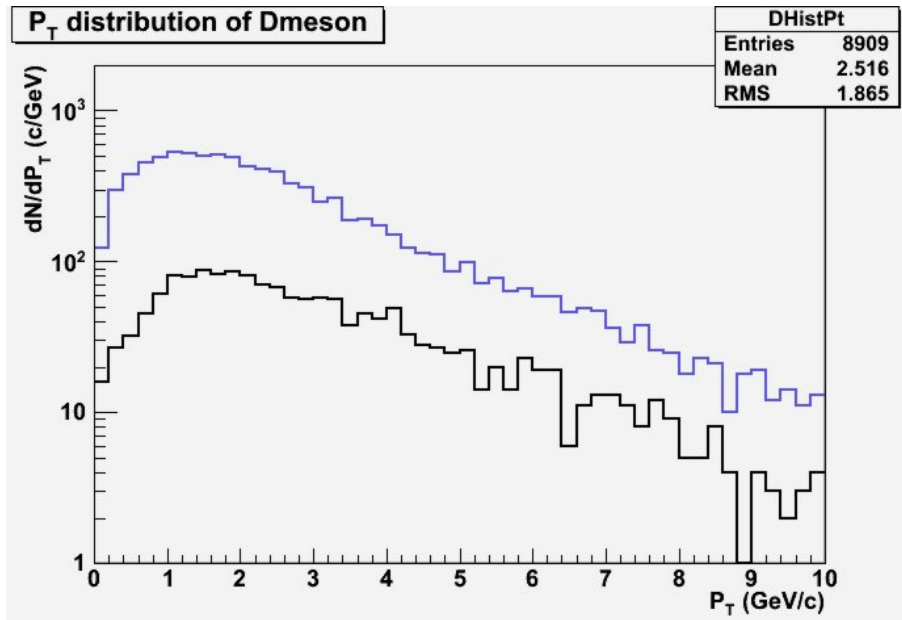
Rekonstruované a Monte Carlo výsledky-porovnání



Obrázek 4.14: Invariantní hmotnost D^0 -mezonu z $K\pi$ párů

Byly vybrány rekonstruované trajektorie z produkovaných srážek takové, které odpovídají simulovaným trajektoriím pro kaon a pion náležícím rozpadu D^0 -mezonu. Invariantní hmotnost D^0 -mezonu se vypočítala z $K\pi$ párů z jejich rekonstruovaných hybností dle vztahu pro M_{inv} , kdy se ukázalo, že pro rekonstruované D^0 -mezony je pík při hodnotě $M_{inv} = 1.853\text{GeV}$ (Obr. 4.14).

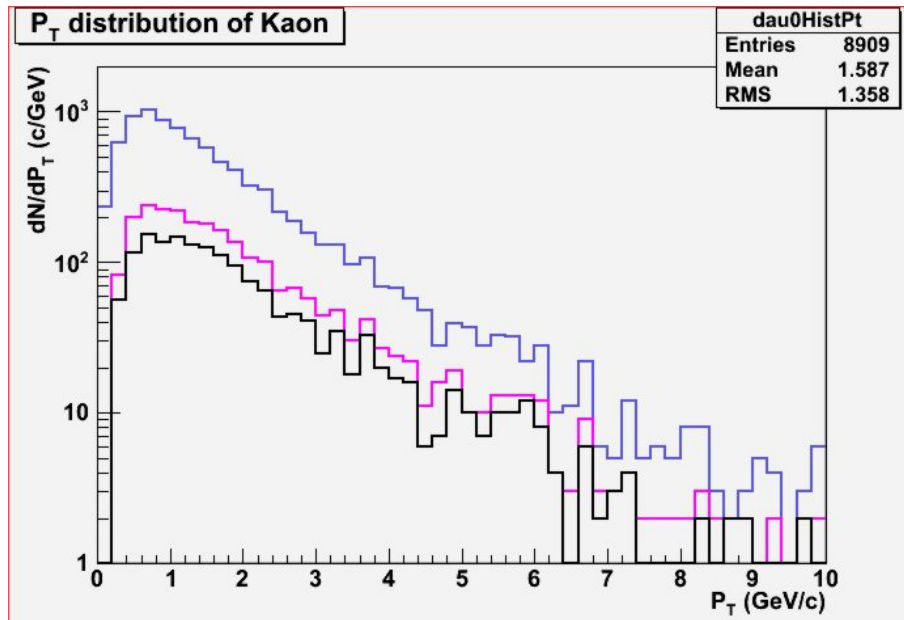
Porovnáme s histogramem na Obr. 4.1. a zjistíme, že simulovaná hodnota je zde $M_{inv} = 1.865\text{GeV}$, což je tabulková hodnota [4]. Původ nevýrazného píku vlevo od píku hlavního je zatím nejasný.



Obrázek 4.15: Spektra příčných hybností MC a RECO od D^0 -mezonu

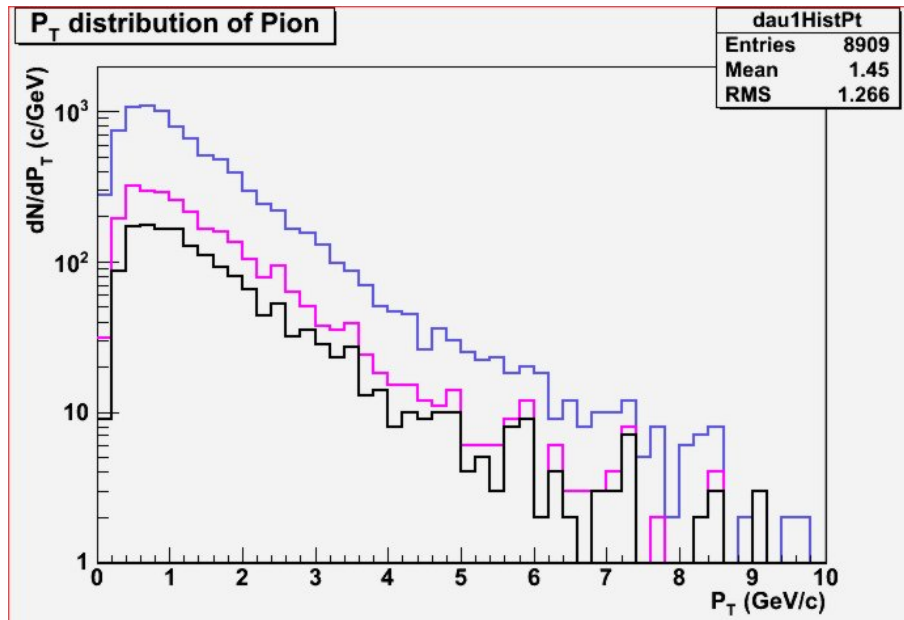
Na Obr. 4.15 se nacházejí p_T spektra všech simulovaných D^0 -mezonů (modrá) a těch, pro které byly zrekonstruovány v detektoru ALICE obě trajektorie dceřinných částic (černá).

Modrý histogram odpovídá histogramu z Obr. 4.4 a na jeho výpis byla použita část makra zmíněného v předchozí kapitole. Rekonstruované dráhy a příslušná rozdělení, kde je nalezena jedna z dcer nebo obě najednou se v makru pořídí zavedením podmínek (viz Obr. 3.3). Obr. 4.16 až 4.20 byly vytvořeny stejným způsobem.



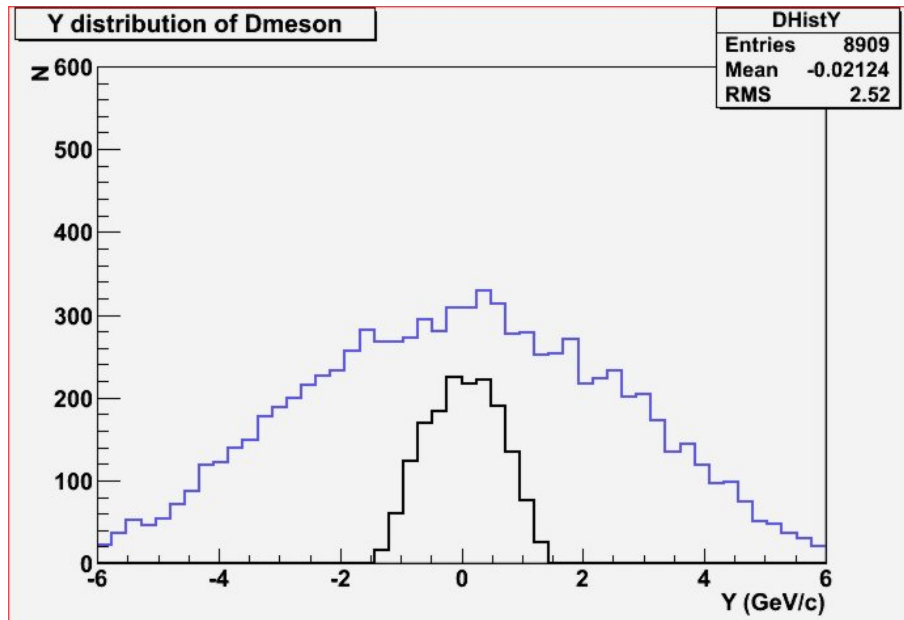
Obrázek 4.16: Spektra příčných hybností MC a RECO od kaonu

Obr. 4.16 ukazuje p_T spektra všech simulovaných kaonů (modrá) z rozpadu D^0 -mezonu a těch, které z nich byly zrekonstruovány v detektoru ALICE (růžová) a těch, pro které byla navíc zrekonstruována i druhá partnerská částice z rozpadu D^0 -mezonu (černá).

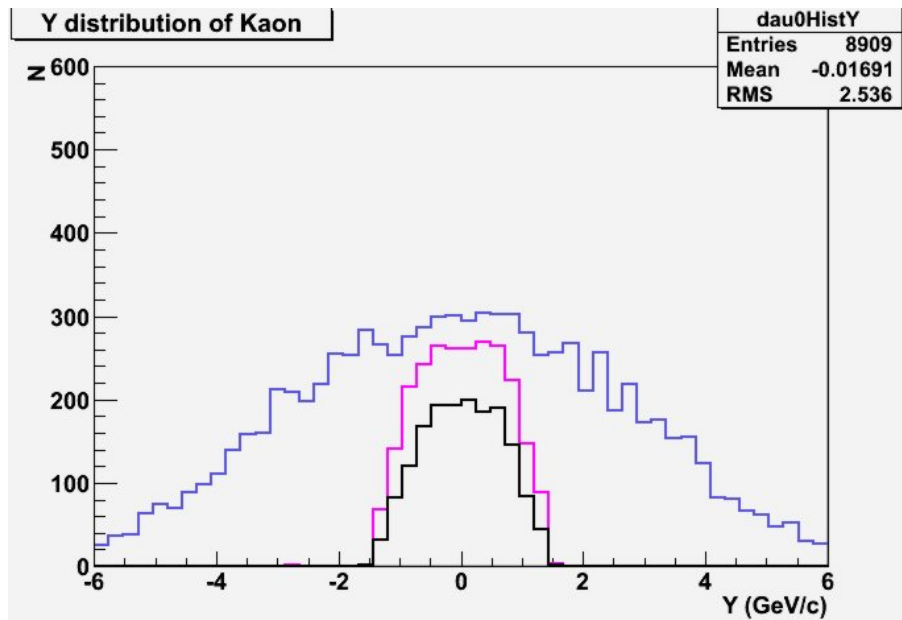


Obrázek 4.17: Spektra příčných hybností MC a RECO od pionu

Obr. 4.17 ukazuje p_T spektra všech simulovaných pionů (modrá) z rozpadu D^0 -mezonu a těch, které z nich byly zrekonstruovány v detektoru ALICE (růžová) a těch, pro které byla navíc zrekonstruována i druhá partnerská částice z rozpadu D^0 -mezonu (černá). Pro výpočet bylo použito vztahu pro p_T zmíněného v odstavci pro definice kinematických veličin.

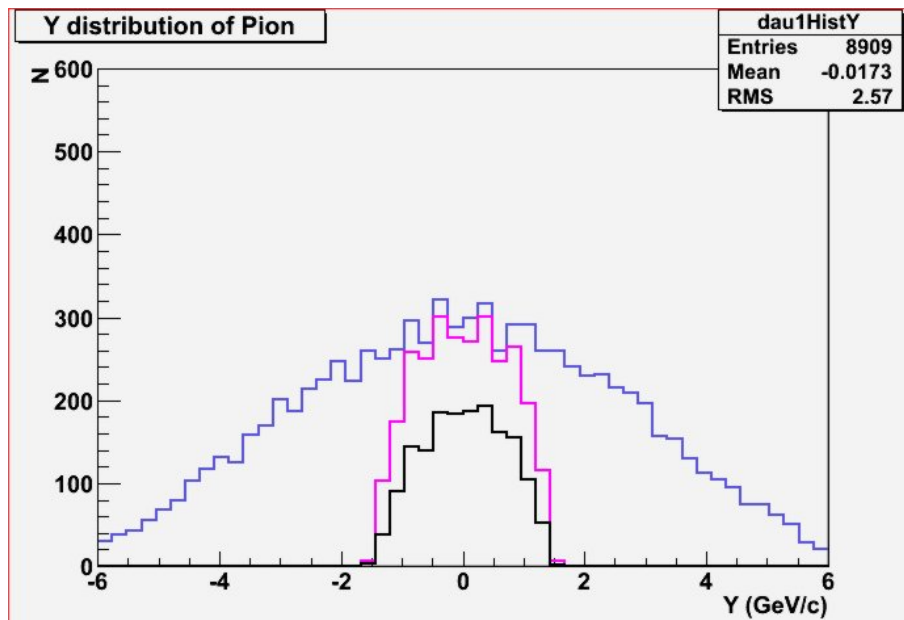
Obrázek 4.18: Rapidita MC a RECO od D^0 -mezonu

Na Obr. 4.18 se nachází rapidita všech simulovaných D^0 -mezonů (modrá) a těch, pro které byly zrekonstruovány v detektoru ALICE obě trajektorie dceřinných částic (černá).



Obrázek 4.19: Rapidita MC a RECO od kaonu

Obr. 4.19 ukazuje rapiditu všech simulovaných kaonů (modrá) z rozpadu D^0 -mezonu a těch, které z nich byly zrekonstruovány v detektoru ALICE (růžová) a těch, pro které byla navíc zrekonstruována i druhá partnerská částice z rozpadu D^0 -mezonu (černá).



Obrázek 4.20: Rapidita MC a RECO od pionu

Obr. 4.20 ukazuje rapiditu všech simulovaných pionů (modrá) z rozpadu D^0 -mezonu a těch, které z nich byly zrekonstruovány v detektoru ALICE (růžová) a těch, pro které byla navíc zrekonstruována i druhá partnerská částice z rozpadu D^0 -mezonu (černá). Pro výpočet bylo použito vztahu pro Y .

Kapitola 5

Závěr

V této práci byly shrnuty aktuální výsledky experimentů týkajících se detekce půvabu v experimentu ALICE, především z rozpadu $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$. Provedli jsme základní analýzu p+p srážek v analyzačním prostředí experimentu ALICE a studovali základní parametry částic v $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$ kanále. Poté jsme diskutovali použití nástrojů, tedy jak hlavních částí detektoru ALICE, tak zpracováním dat a prováděním výpočtů.

Tato práce je základem pro studium jednotlivých analyzačních kroků.

Literatura

- [1] Aamodt et al.(ALICE), Eur. Phys. J. C. (2010) 65: 111-125
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/A_Large_Ion_Collider_Experiment
- [3] Ch. George Ivan: Open charm analysis with the ALICE detector in pp collisions at LHC (2009)
- [4] PDG (Particle Data Group): Particle Physics Booklet (2008)
- [5] Zeus, Eur. Phys. J. C 44, 351–366 (2005)
- [6] A. Grelli (ALICE Collaboration): D meson production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7TeV$ measured with the ALICE detector at LHC, Quark Matter (2011)
- [7] Z. Conesa (ALICE Collaboration): D meson reference spectra in pp collision at $\sqrt{s} = 2.76TeV$ with ALICE, Quark Matter (2011)
- [8] A.Rossi for ALICE collaboration, arXiv:1106.5931 [hep-ex]
- [9] <http://aliweb.cern.ch/Offline/AliRoot/Manual.html>
- [10] <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>
- [11] <http://www-nsdth.lbl.gov/~xnwang/hijing/index.html>
- [12] W. Hopkins: Vertex reconstruction, (2009)
- [13] <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>
- [14] M. Rossini: First observation of D^0 production in CMS, (2010)
- [15] E. Bruna: Open charm reconstruction in ALICE: $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$, (2007) [arXiv:nucl-ex/0703005]
- [16] H1 Collab., A. Aktas et al., Eur. Phys. J. C. 38, 447 (2005)
- [17] L.Gladilin, Preprint hep-ex/9912064 (1999)
- [18] D. Caffarri: D meson R_{AA} paper status, Quark Matter (2011)