

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: 6

Název: Simulácia prechodu častíc hadrónovým kalorimetrom

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk.F3 dne: 4. 12. 2006

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:.....

Pracovné úlohy:

1. Zoznámiť sa s interaktívnou verziou simulácií.
2. Preštudovať charakter interakcií rôznych častíc v hadrónovom kalorimetre.
3. Kvantitatívne porovnať energetické straty v kalorimetri pre rôzne druhy častíc.

Teoretická časť:

Hadrónový kalorimeter

Hadrónový kalorimeter umožňuje merať energiu a smer prelietavajúcich častíc. Meranie energie je založené na úplnom pohltení pôvodnej častice. Častica s vysokou energiou pri prelete kalorimetrom interaguje s jadrami materiálu a vytvára sekundárne častice. Sekundárne častice ďalej interagujú za vzniku nových častíc, pričom ich energia postupne klesá; vzniká tzv. sprška (kaskáda). Ak klesne energia častíc pod určitú hranicu, proces tvorby sekundárnych častíc sa zastaví a častice ďalej strácajú energiu ionizáciou, až kým sa úplne nezastavia.

Samotný kalorimeter je tvorený striedajúcimi sa vrstvami železa (absorbátor) a scintilátormi (tvorené aktívnymi polymérmi), z ktorých sú čítané údaje. V aktívnom médiu sa detekujú energetické straty častíc vzniknutých v absorbátore. Smer letu častice sa určuje pomocou rozdelenia kalorimetra do segmentov a je popísaný dvojicou súradníc η a φ , z ktorých tá druhá určuje uhol v rovine kolmej na začiatočný zväzok a η je tzv. transrapidita

$$h = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right), \quad (1)$$

kde θ je uhol meraný od osi kalorimetra.

Interakcia častíc v kalorimetri

Ku strate energie v kalorimetri dochádza niekoľkými spôsobmi:

- 1) elektromagnetická sprška – patria tu častice e^- , e^+ (anihiluje s e^- za vzniku dvoch fotónov), fotóny (vznik elektrón-pozitrónových párov) a neutrálne pióny π^0 . Vzniknuté elektróny a pozitróny vyžarujú brzdné žiarenie, ktoré tvorí elektromagnetickú spršku. Častica π^0 sa ešte pred vstupom do kalorimetra vďaka svojej krátkej dobe života rozpadá na dva fotóny γ žiarenia, z ktorých každý spôsobí samostatnú elektromagnetickú spršku.
- 2) hadrónová sprška – patria tu všetky vysoko energetické hadróny okrem π^0 . No v hadrónovej sprške môžu vzniknúť aj π^0 . Ďalej hadrónovú spršku tvoria sekundárne hadróny produkované pri zrážkach s jadrami kalorimetra a tzv. neviditeľná energia, ktorú kalorimeter nemôže detekovať (energia spotrebovaná na rozbitie jadier, energia odnesená neinteragujúcimi časticami).
- 3) ionizačné straty – patria tu nabité častice, ktoré majú tak nízku energiu (< 1 GeV), že nemôže dochádzať k vytváraniu ďalších častíc, a tak strácajú energiu ionizáciou. Patria tu aj mióny, ktoré strácajú energiu prevažne ionizáciou v širokom rozsahu energií (až do rádu stoviek GeV).
- 4) neinteragujúce častice – patria tu neutrína, ktoré interagujú s okolím iba tzv. slabou interakciou

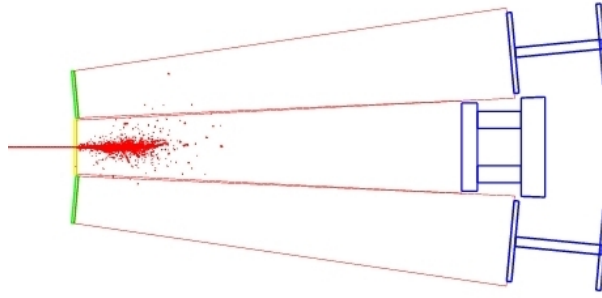
Výsledky meraní:

Interaktívna verzia simulácie

V prvej časti som interaktívne študoval prechody rôznych častíc kalorimetrom. V použítom programe je možné nastaviť druh častice, energiu, uhol φ i pseudorapiditu θ . Vizualizáciu bolo možné prepínať medzi bočným, horným a 3D pohľadom, z ktorých je najprehľadnejší bočný.

1) Elektróny a pozitróny

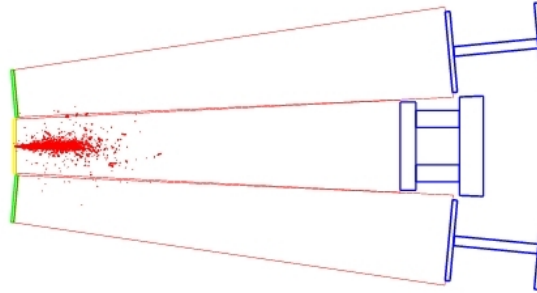
Pri ich prechode kalorimetrom dochádza ku vytvoreniu elektromagnetickej spršky, ktorá je takmer bez zvyšku pohltená v kalorimetri.



Obrázok 1 - Elektromagnetická spíška z elektrónu s energiou 20 GeV

2) Fotóny

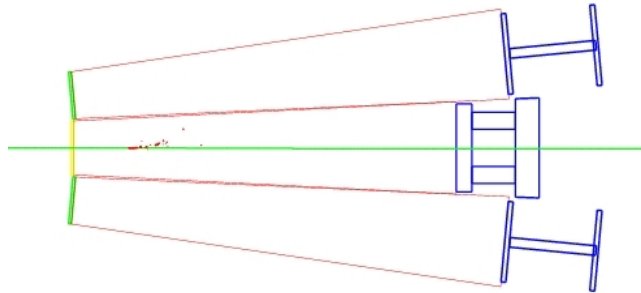
Energia γ kvanta sa postupne vybíja vytváraním elektrón-pozitrónových párov, t.j. je to podobná situácia ako v 1). Jediný rozdiel je v stope častice vstupujúcej do kalorimetra.



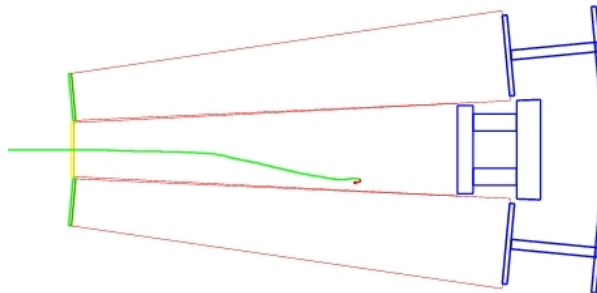
Obrázok 2 - Elektromagnetická spíška z fotónu s energiou 20 GeV

3) Mióny

Mióny v kalorimetri takmer neinteragujú.



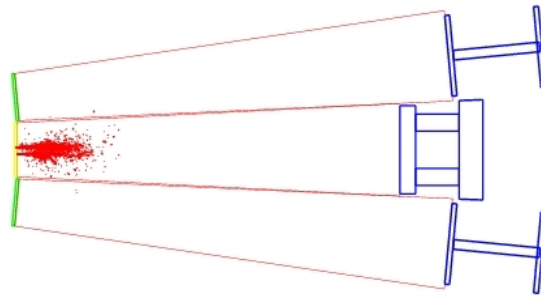
Obrázok 3 – Prelet záporného miónu s energiou 20 GeV



Obrázok 4 – Prelet záporného miónu s energiou 1,5 GeV

4) Pión π^0

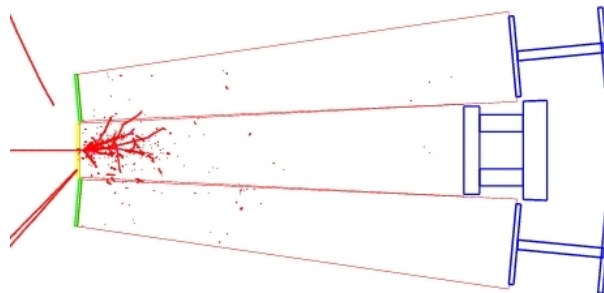
Pión π^0 sa veľmi rýchlo ($\tau = 8,4 \times 10^{-17}$ s) rozpadá sa dva fotóny, a preto dostávame dve stopy γ kvánt. Vzájomná vzdialenosť oboch spíšok závisí na energii piónu, pretože čím je jeho energia menšia, tým väčší je uhol, pod ktorým sa γ kvantá rozletia. Pre vyššie kinetické energie už obe vetvy rozpadu splynú v jednu a výsledok je takmer zhodný s elektrónom a fotónom.



Obrázok 5 – Dvojitá elektromagnetická spŕška z neutrálneho piónu s energiou 1,5 GeV

5) Pióny π^- a π^+

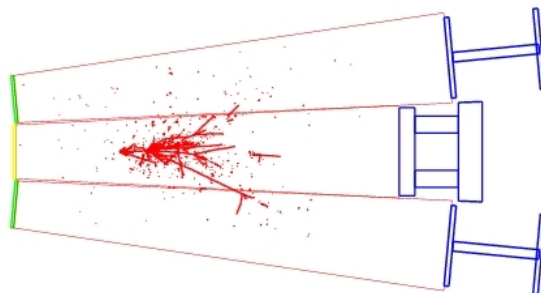
Pióny π^- a π^+ majú polčas rozpadu dlhší ($2,6 \times 10^{-8}$ s). V kalorimetri zanechávajú jasnú stopu hadrónovej spŕšky a takisto elektromagnetickej spŕšky v dôsledku rozpadu vzniknutých neutrálnych piónov.



Obrázok 6 – Hadrónová spŕška z kladného piónu s energiou 20 GeV

6) Neutróny

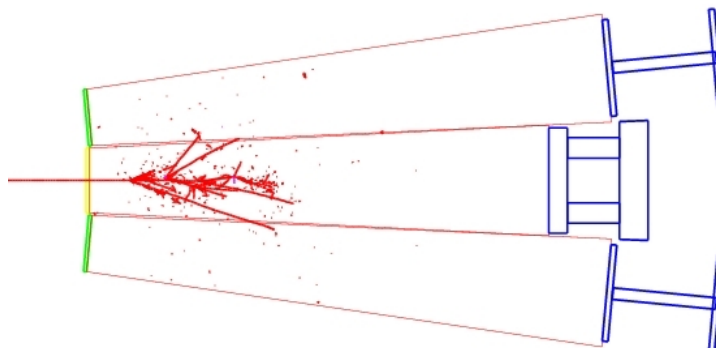
Neutróny vytvárajú hadrónovú spŕšku. Keďže neutróny sú neutrálne častice, tak chýba stopa prichádzajúca do kalorimetra.



Obrázok 7 – Hadrónová spŕška z neutrónu s energiou 20 GeV

7) Protóny

Protóny zanechávajú v kalorimetri stopu, ktorá sa podobá stope nabitého piónu.



Obrázok 8 – Hadrónová spŕška z protónu s energiou 20 GeV

Neutrína s hmotou takmer neinteragujú, a preto sa ich dráha v simulátore nezobrazila.

Energetické straty

Počas interaktívneho štúdia sa počítali histogramy strát energie pre tri typy častíc (elektrón e^- , kladný pión π^+ a záporný mión μ^-) s energiou 20 GeV. Batchovou verziou programu boli nasimulované prechody 200 e^- , 500 π^+ a 2000 μ^- . Z týchto prechodov boli zostavené histogramy energie deponovanej v scintilátoroch a energie deponovanej v mŕtvom materiáli modulu 0. Nameranými histogramami som preložil gaussovú krivku.

Na *obrázkoch 9, 11 a 13* sú zobrazené histogramy pre energiu deponovanú v scintilátoroch pre elektrón, pión a mión.

Na *obrázkoch 10, 12 a 14* sú zobrazené histogramy pre energiu deponovanú v absorbátoroch kalorimetra pre elektrón, pión a mión.

1) Elektróny

Elektromagnetická spŕška je takmer úplne pohltená v kalorimetri. Súčet oboch energií dáva približne 20 GeV.

2) Pióny

Napriek tomu, že pre elektrón a pión sa rovnajú stredné hodnoty energie deponovanej v scintilátoroch, sa stredné hodnoty energie deponovanej v absorbátoroch líšia. Pri interakciách piónov s jadrami dochádza ku vzniku mnohých neutrín, ktoré z kalorimetra uniknú. Takisto dochádza k strate energie pri rozbití jadier (jadro železa má veľkú väzbovú energiu pripadajúcu na jeden nukleón).

3) Mióny

Mióny pri svojom prechode hmotou kalorimetra takmer neinteragujú, t.j. je pohltená len nepatrná časť ich energie.

Diskusia:

Výsledky jednotlivých simulácií zodpovedajú predpokladaným vlastnostiam častíc a interakcií. Diskusia jednotlivých prípadov je uvedená v časti *Výsledky meraní*.

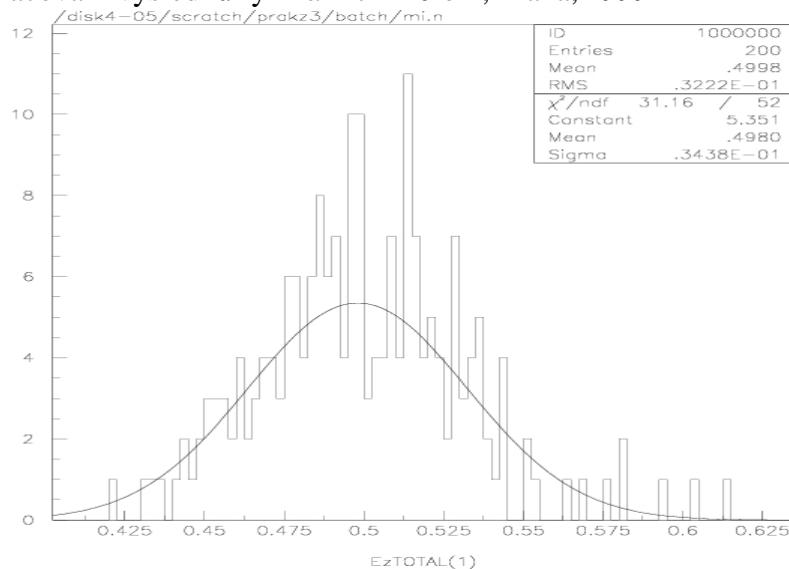
Záver:

Pozoroval som elektromagnetické a hadrónové spŕšky, ktoré vznikajú pre prechode jednotlivých častíc kalorimetrom. Kvantitatívne som pozoroval energetické straty pri prechode elektrónu, piónu a miónu. Výsledky sú spracované graficky na *obrázkoch 9 – 14*.

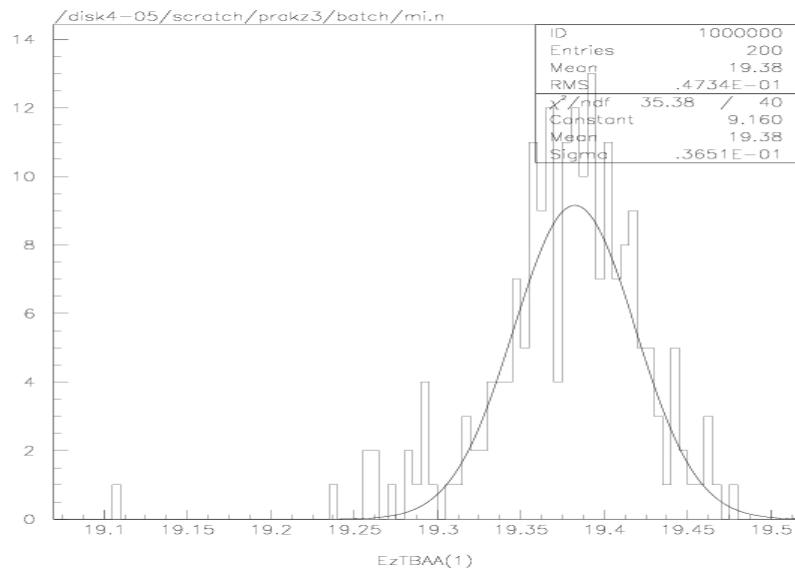
Literatúra:

[1] študijný text na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

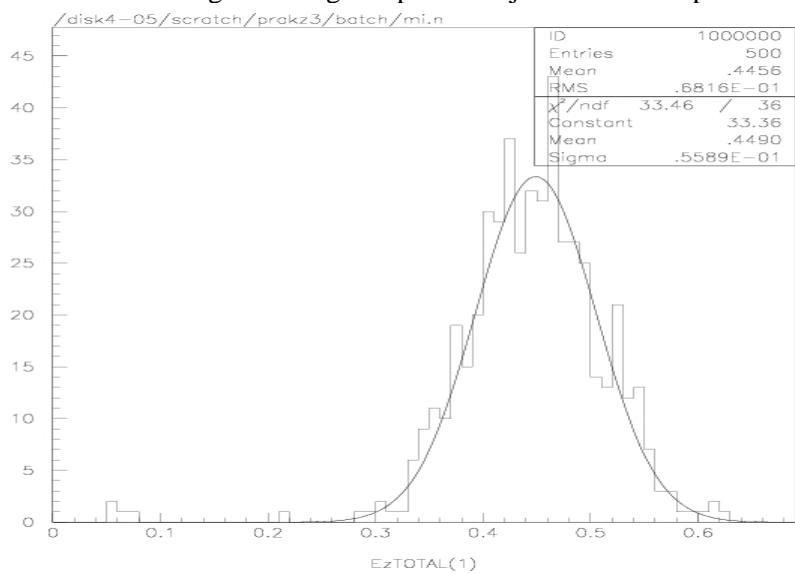
[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999



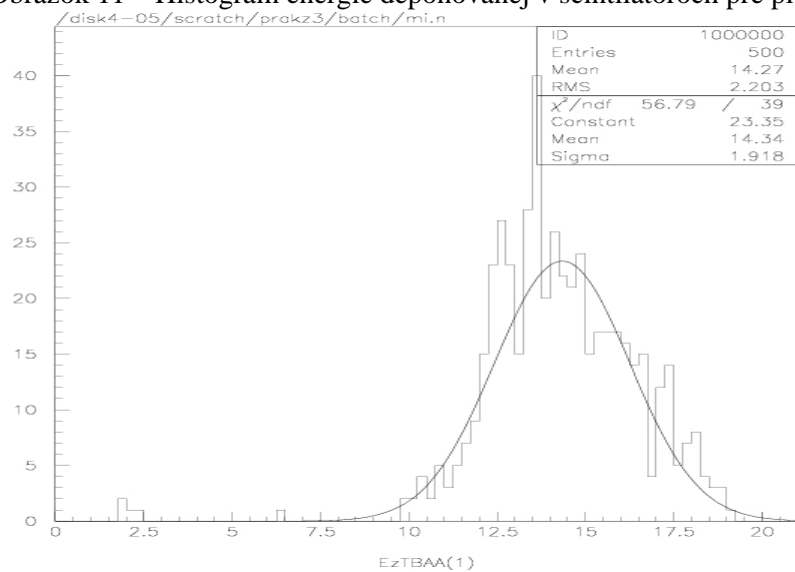
Obrázok 9 – Histogram energie deponovanej v scintilátoroch pre elektrón



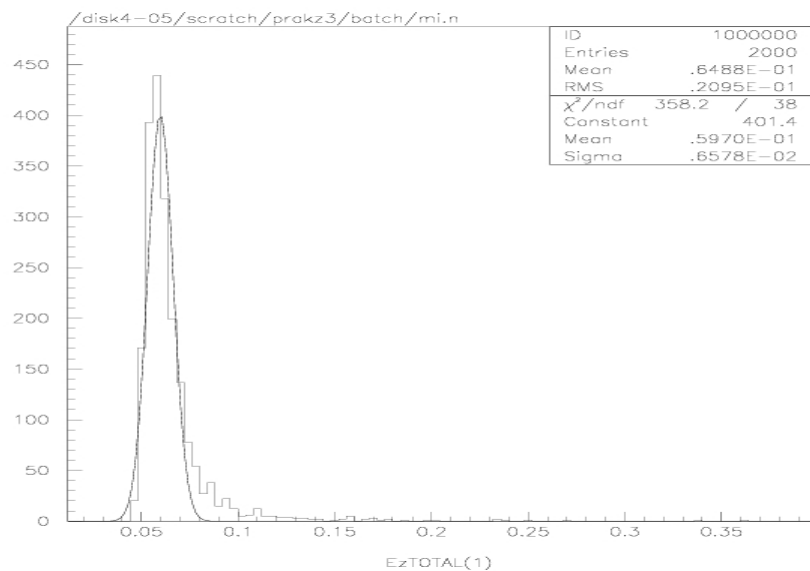
Obrázok 10 – Histogram energie deponovanej v absorbátore pre elektrón



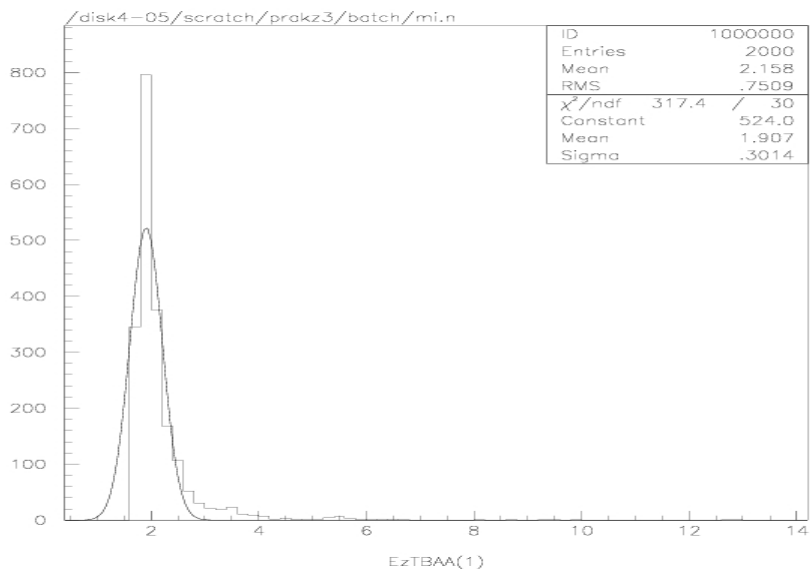
Obrázok 11 – Histogram energie deponovanej v scintilátoroch pre pión



Obrázok 12 – Histogram energie deponovanej v absorbátore pre pión



Obrázok 13 – Histogram energie deponovanej v scintilátoroch pre mión



Obrázok 14 – Histogram energie deponovanej v absorbátore pre mión