

6. Simulace průchodu částic hadronovým kalorimetrem

Pracovní úkol:

1. Seznámit se s interaktivní verzí simulace
2. Prostudovat charakter interakcí různých částic v hadronovém kalorimetru
3. Kvantitativně srovnat energetické ztráty v kalorimetru pro různé druhy částic

Teorie:

V hadronovém kalorimetru můžeme sledovat dráhu a energetické ztráty procházejících částic. Sám se sestává z modulů, které tvoří vrstvy absorbatory a detektory (ionizační komory, scintilátory). Absorbátor (železo) slouží k produkci sekundárních částic a jako konstrukce. Pomocí detektorů zjišťujeme energetické ztráty částic.

V simulaci simulujeme dráhu částice a její rozpad v modulu kalorimetru. Trajektorii je možné si nechat znázornit, čímž zjistíme charakter interakcí, nebo nasimulovat velké množství událostí a vykreslit statistiku ztrát. Při zadávání počátečních hodnot se volí druh částice, počáteční energie a její směr. Směr se udává pomocí úhlu φ a pseudorapidity $\eta = \ln(\tan(\theta/2))$.

Charakter interakcí je různý podle druhu nalétávajících částic. Při průchodu nabitých leptonů (necítí silnou interakci) hmotou vzniká elektromagnetická sprška. Při brždění nabitých částic se vyzáří γ kvanta, ze kterých vzniknou elektron pozitronové páry. Dále tyto spršky vznikají při průchodu π^0 , který se velmi rychle rozpadá na dvě γ kvanta.

Pokud je nalétávající částice složena z kvarků, interaguje i s jádry materiálu a vzniká hadronová sprška. Podílejí se na ní nukleony vyražené z jader, neutrina, další hadrony. Doprovází ji elektromagnetická sprška.

Pokud už částice nemá dostatečnou energii na vznik dalších částic ($E < 1 \text{ GeV}$), ztrácí energii ionizací. Také μ ztrácí energii převážně ionizací. Interakce neutrin a antineutrin je vzhledem k jejich střední volné dráze zanedbatelná.

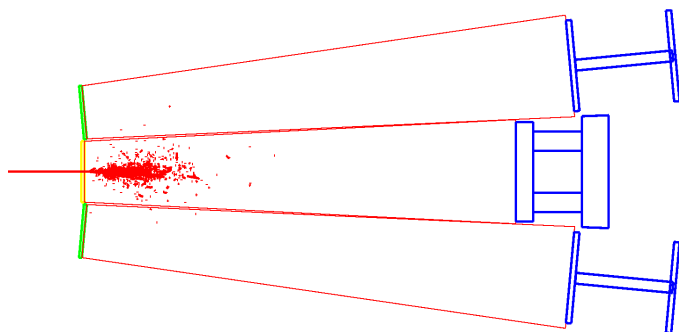
Měření:

Interaktivní verze simulace

Pozoroval jsem interakce v kalorimetru pro různé částice, různých energií v různých pohledech. Nejprehledněji se mi jevil boční pohled. Obrázky zachycují barevně body, kudy se pohybovaly nabitě částice – miony zeleně, částice s jednotkovým nábojem (e^\pm) vyjma mionů červeně, částice s větším nábojem fialově. Neutrální částice se nezobrazovaly.

Charakter interakcí

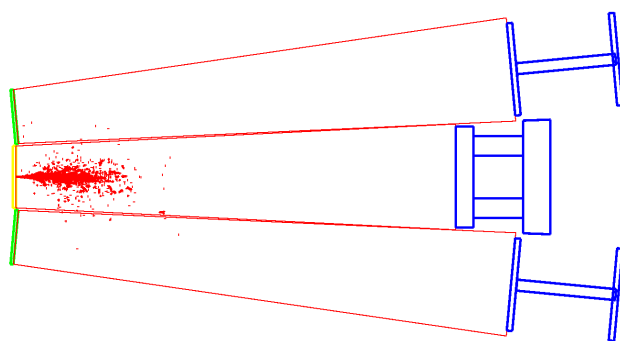
Elektrony, pozitrony – jejich záznamy se neliší. Jedná se o elektromagnetickou spršku, která je téměř beze zbytku v kalorimetru pohlcena.



Obr1 - elektron s energií 20GeV

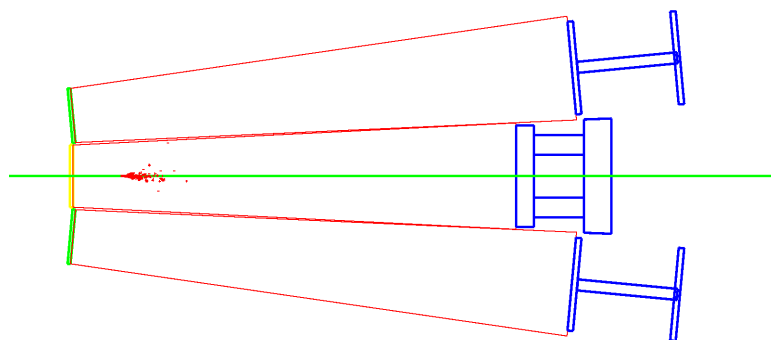
Z obrázku vidíme, že můžeme přidávat energii nalétávajícím elektronům.

Foton – jedná se o nenabitou částici, proto nevidíme vstupní trajektorii, energii ztrácí vytvářením elektron-positronových párů, takže se obrázky podobají první situaci.



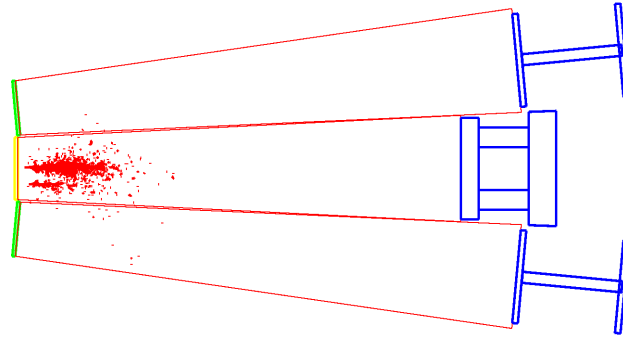
Obr2 – foton s energií 20GeV

Mion – jsou stejně jako elektrony nabitě leptony, ale jsou mnohem těžší. Tím pádem se tolik nezbrzdí při interakci s elektronovým obalem atomů, a tedy množství vyzářených brzdných γ kvant není velké. Interakci jsem pro nižší energie nepozoroval.



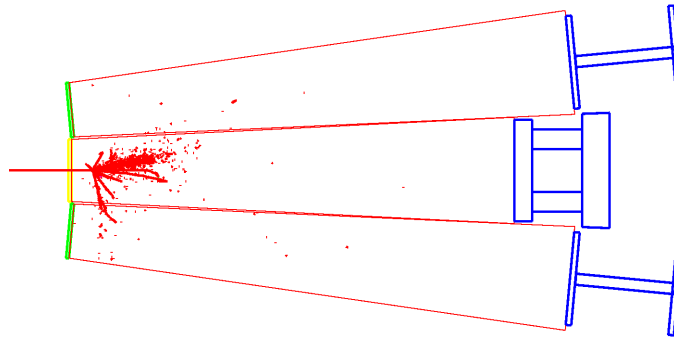
Obr3 – μ^- s energií 200GeV

Pion π^0 - se velice rychle ($\tau = 8,4 \times 10^{-17}$ s) rozpadá na dva fotony, proto dostáváme dvě stopy gama kvant. Tyto stopy se k sobě s narůstající energií přibližují.



Obr4 – π^0 s energií 20GeV

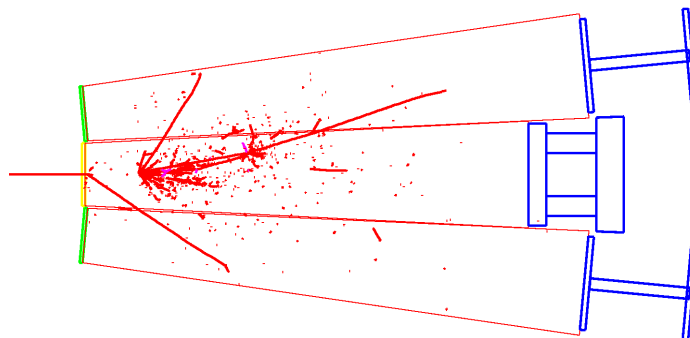
Piony π^+ a π^- - mají poločas rozpadu mnohonásobně delší než π^0 , proto stihnou doletět do kalorimetru, kde zanechávají poměrně jasnou stopu hadronové spršky (a spršky elektromagnetické důsledkem rozpadu vzniklých neutrálních pionů).



Obr4 – π^+ s energií 20GeV

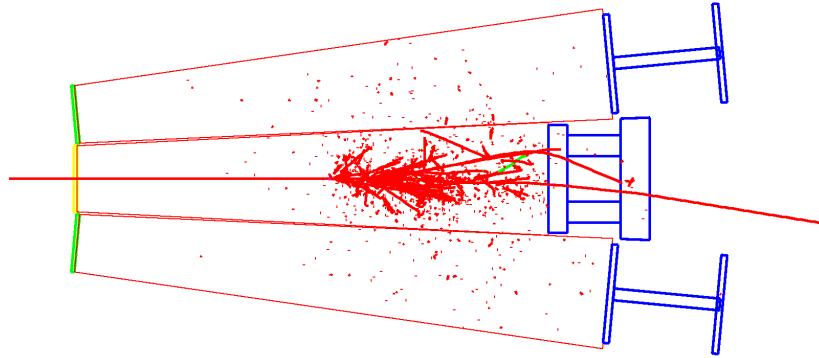
Můžeme pozorovat jasné trajektorie vzniklých nabitých částic.

Protony – interakce má stejný charakter jako u pionů. Pro energii 50GeV se už téměř nevejde sprška do kalorimetru. Kalorimetr je omezen pouze na tyto energie, aby byl schopen absorbovat celou spršku.



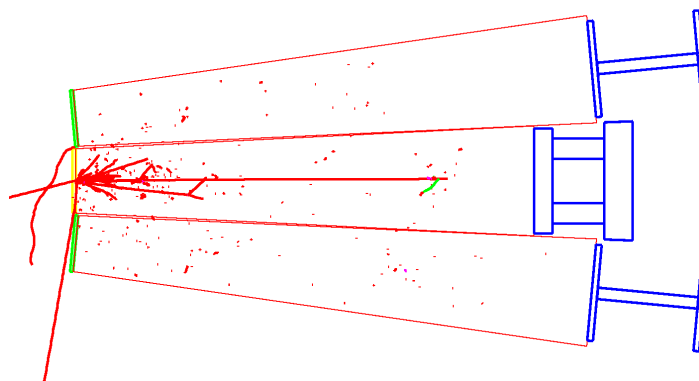
Obr5 – p s energií 20GeV

Na obrázku vidíme, že proton těsně po vstupu do kalorimetru interaguje s jádrem a vzniká neutron, který se pohybuje v původním směru.

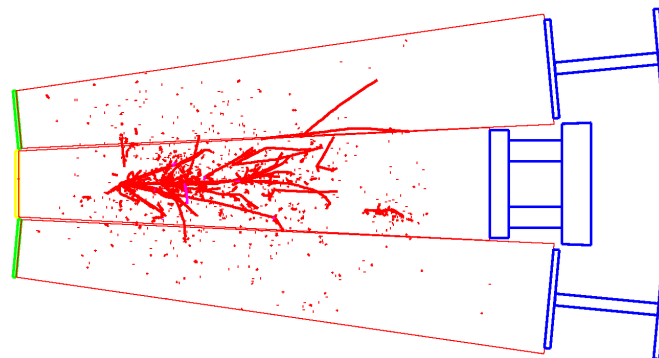


Obr6 – p s energií 50GeV

Neutron – také vytvářejí hadronovou spršku, chybí ovšem stopa přicházející do kalorimetru (neutron je neutrální částice).

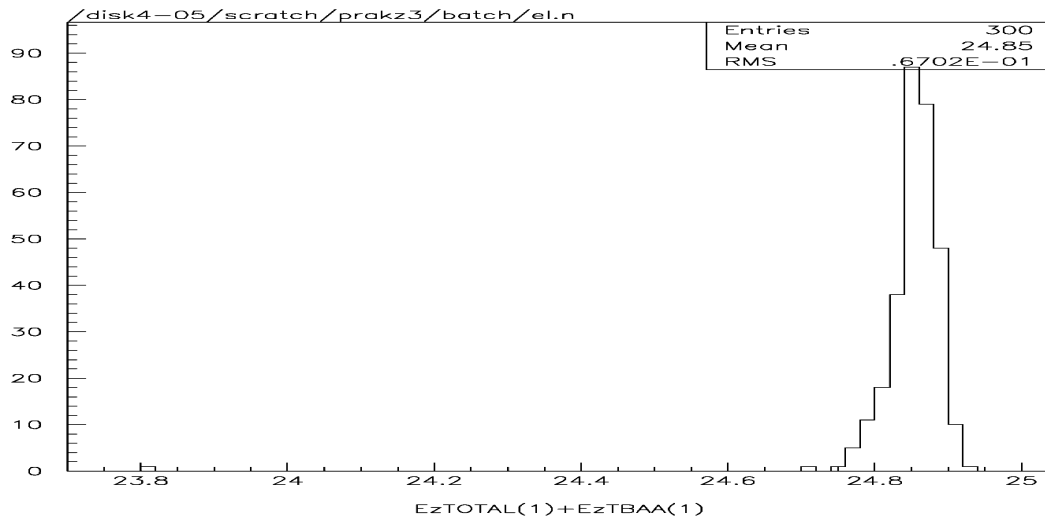


Obr7 – n s energií 20GeV

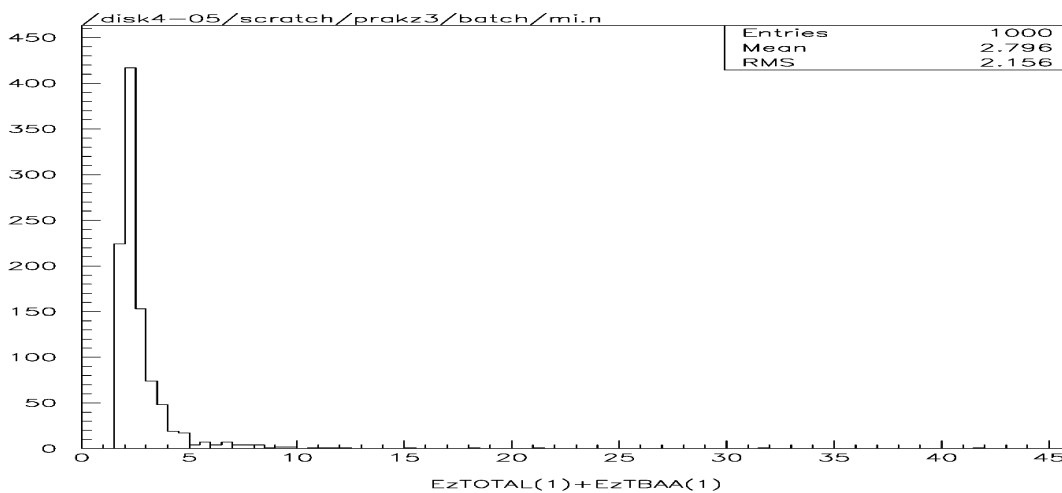


Obr8 – n s energií 50GeV

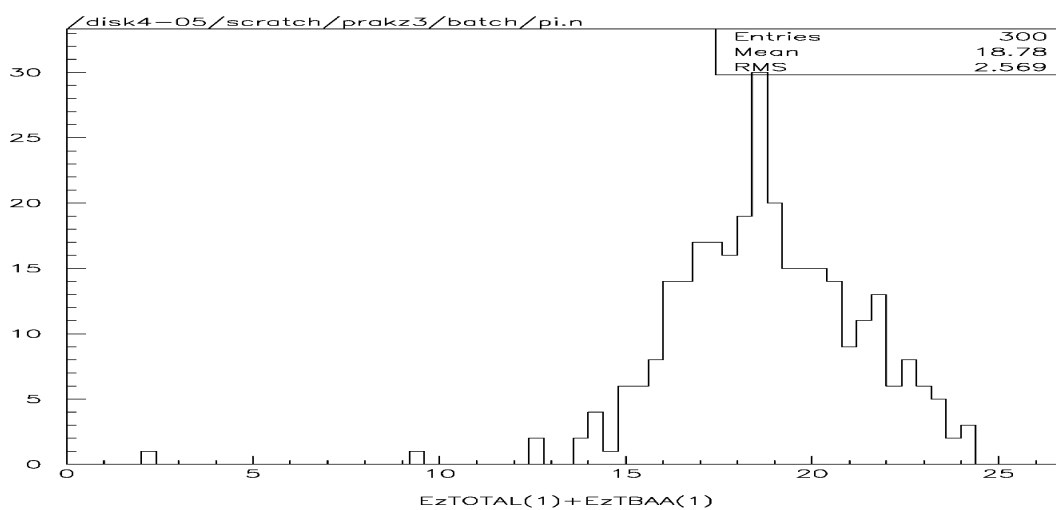
Srovnání energetických ztrát v kalorimetru bylo provedeno pro elektrony, miony a piony. Byl použit soubor 300 elektronů (e^-) se vstupní kinetickou energií 25GeV, soubor 1000 mionů (μ^-) se vstupní energií 100GeV a 300 pionů (π^+) se vstupní energií 25GeV. V histogramech je na vodorovné ose vynesena celková energie zanechaná v kalorimetru (energie zanechaná ve scintilátorech, absorbátorech), na svislé počet částic.



Graf 1 - Histogram energetických ztrát v kalorimetru - elektrony.



Graf 2 - Histogram energetických ztrát v kalorimetru - miony.



Graf 3 - Histogram energetických ztrát v kalorimetru - piony.

Elektrony zanechaly v kalorimetru skoro všechnu svoji energii (vstupní energie 25GeV, střední hodnota pohlcené energie 24,85GeV), což odpovídá i pozorováním simulace průchodu elektronu v interaktivní části (obr1).

Miony s energií 100GeV mají nižší energii než mion z *obr3*. Na tomto obrázku můžeme pozorovat, že mion ionizoval prostředí kalorimetru, a poté odlétá z kalorimetru, tj. neztratil všechnu svoji energii. V interaktivní verzi jsem pozoroval, že pravděpodobnost ionizace klesala se snižující se vstupní energií mionů.

Piony při průchodu kalorimetrem produkují další částice, tj. vznikají hadronové spršky a některé nově vytvořené částice unikají z kalorimetru a odnášejí tak část energie vstupujícího pionu. Na ztrátách energie se podílí rozbití jader a část energie odnášejí neinteragující neutrino. Střední hodnota energie, kterou pion se vstupní energií 25GeV předal kalorimetru, byla 18,78GeV.

Diskuze:

1., 2., 3. Simulované interakce probíhaly dle teoretických předpokladů. Závěry získané z interaktivní verze a z batchové verze si odpovídají, více viz v části Měření.

Závěr:

Seznámil jsem se s interaktivní verzí simulace modulu hadronového kalorimetru Tilecal. Vyzkoušel jsem se simulovat různé částice, s rozdílnou energií vstupující do modulu pod různými úhly. Model nabízel různé typy pohledů .

Prostudoval jsem charakter interakcí různých částic s různými vstupními energiemi.

Z batchové verze simulace jsem vypracoval kvantitativní srovnání průchodu e^- , π^+ a μ^- kalorimetrem. V průměru nejvíce energie kalorimetru předaly elektrony (24,85GeV z 25GeV), poté piony (18,78GeV z 25GeV) a nejméně miony (2,8GeV z 100GeV). Tyto údaje se shodovaly s pozorováním průběhu interakcí v interaktivní verzi simulace.

Literatura:

- [1] studijní text z internetových stránek Praktika IV
(http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_a06.htm)