

## PRAKTIKUM IV

Úloha č.: I

Název: Studium relativistických jaderných interakcí. Identifikace částic a určování typu interakce na snímcích z bublinové komory.

Vypracoval: **Michal Bareš**

dne 29.11.2007

---

### **Pracovní úkol**

- 1) Formulujte pravidla pro identifikaci interakcí pionů s protony, neutrony a jádry uhlíku.
- 2) Pořídte záznamy o zpracovávaných interakcích podle přiloženého vzoru a nalezněte z každé skupiny jednoho zástupce.
- 3) Určete druh částic v primárních interakcích.
- 4) Klasifikujte sekundární jevy podle obr.1. a nalezněte z každé skupiny alespoň jednoho zástupce.

## Teorie

Jedním z detektorů používaných pro studium čističových interakcí je bublinová komora. Jedná se o dráhový detektor, umožňující sledovat trajektorie částic v prostoru komory. Nabitá částice při průchodu přehřátou kapalinou vytváří stopu z bublinek, kterou je možné fotograficky zaznamenat. V prostoru komory je obvykle přítomno vnější magnetické pole, které způsobuje zakřivení dráhy nabitých částic. Z tvaru této stopy je poté možné určit jaká částice jí vytvořila. Nevýhodou bublinové komory je skutečnost, že taková identifikace v některých případech nebývá jednoznačná.

K určení typu částice v našem experimentu se používají tato kritéria:

- I) poloměr křivosti dráhy v magnetickém poli  $R$
- II) délku dráhy v komoře  $l$ ; pokud se částice v komoře zastaví, tak dolet částice  $L$
- III) hustotu bublin na jednotce dráhy  $I$  („intenzitu“ bublinové stopy), případně počet vzniklých  $\delta$ -elektronů na jednotce dráhy  $N_b$
- IV) střední úhel mnohonásobného rozptylu  $\langle \theta \rangle$

Pro elektricky nabitou částici s klidovou hmotností  $m$ , rychlostí  $v$ , hybností  $p$  a nábojem  $Z$  platí při pohybu v magnetickém poli o indukcii  $B$  tyto vztahy:

$$L = \frac{m}{Z^2} f(v) \quad (1)$$

$$l = Z^2 \varphi(v) \quad (2)$$

$$N_b = konst \frac{Z^2}{v^2} \quad (3)$$

$$\langle \theta \rangle = konst \frac{|Z|}{pv} \quad (4)$$

$$R = \frac{p}{BZ} \quad (5)$$

přičemž předpokládáme že směr rychlost částice je kolmý na směr magn. indukce.

Pro identifikaci částice je třeba určit její hmotnost, hybnost a náboj. Ze zaznamenaných bublinových stop je principiálně možné tyto veličiny získat pomocí kombinace vztahů (1) – (5). V praxi byly k dispozici šablony pro rychlé určení poloměru dráhy, které rovnou umožňovaly odečíst energii částice (za předpokladu jednotkového náboje částice). Intenzitu stopy na záznamu je možné posuzovat relativně, vzhledem k nějaké jiné stopě (např. vzhledem ke stopě známé částice vlétající do komory). Znaménko elektrického náboje je možné určit ze směru zakřivení dráhy částice.

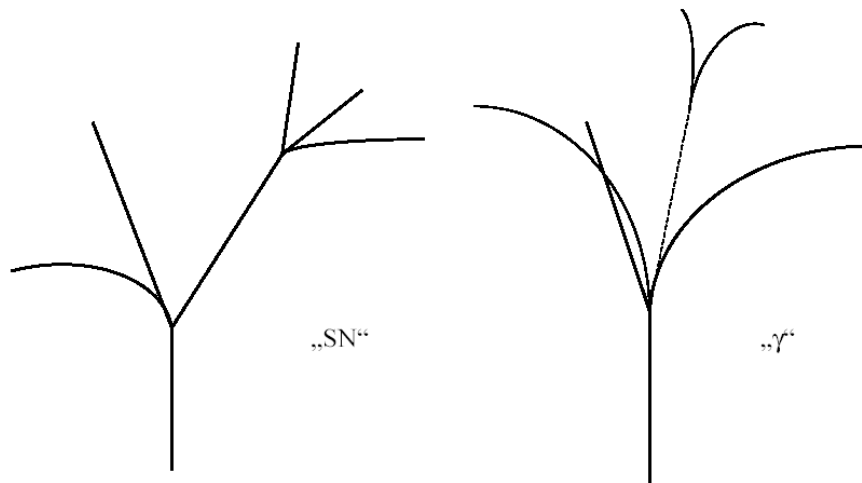
V úloze jsou použity snímky pořízené ozářením dvoumetrové propanové komory svazkem  $\pi^-$  ketonů s hybností  $p=40\text{GeV}/c$  z urychlovače v Serpuchově. Komora je naplněna propanem a umístěna v magnetickém poli s indukcí  $B=1,4\text{T}$ .

Na snímcích z komory můžeme identifikovat zejména tyto částice

- 1)  $\delta$ -elektrony, které vznikají podél dráhy částice ionizací valenčních elektronů atomů média v komoře. Tyto elektrony nám umožňují určit směr magnetického pole.
- 2) Elektrony  $e^-$  a pozitrony  $e^+$  které lze rozeznat také podle malého poloměru křivosti dráhy  $R$ , který navíc rychle klesá jak jsou tyto částice zpomalovány.
- 3)  $\pi^+$  a  $\pi^-$  mezony - mohou vznikat stejně jako protony při primární interakci nebo při interakci sekundární.
- 4)  $p^+$  protony, které můžeme rozeznat od  $\pi^+$  podle doletu a energie stanovené ze zakřivení trajektorie (protony jsou zejména při nižších energiích lépe absorbovány než piony) a podle ionizace (protony ionizují zejména při nižších energiích víc než piony) a nakonec ze zákona zachování baryonového čísla, který musí být při interakci splněn.

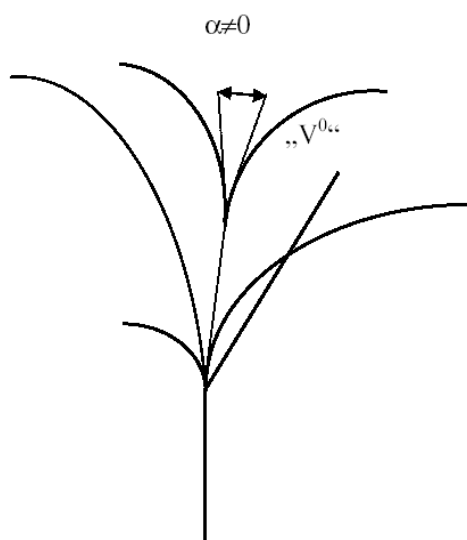
- 5)  $\gamma$ -kvanta, která můžeme identifikovat při rozpadu na elektron-pozitronový pár. Vznikají při anihilaci neutrálního  $\pi^0$  mezonu, který vzniká při srážce  $\pi$  mezonu s nukleonem. Lze je rozeznat podle úhlu, který svírají vyletující produkty konverze  $\gamma$ -kvanta, jenž bývá velmi malý.
- 6)  $n^0$  neutrony, které můžeme rozlišit až podle sekundární interakce s terčem v komoře.
- 7) Další neutrální hadrony, které rozpoznáme podle rozpadu obvykle na dvě částice kladně a záporně nabitě. Například  $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$  nebo  $\Lambda^0 \rightarrow \pi + p$ . Takový rozpad lze odlišit od konverze  $\gamma$ -kvanta podle většího úhlu, který svírají produkty interakce i podle zakřivení dráhy produktů.

Typické záznamy sekundárních interakcí jsou znázorněny na obrázku 1.

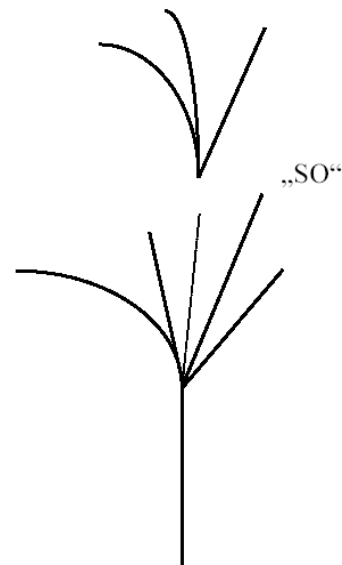


a) sekundární interakce nabitě částice

b) konverze  $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$



c) rozpad typu  $V^0$



d) sekundární interakce neutrální částice

obr.1 – některé typické sekundární interakce

## Výsledky měření

Nabitě částice komora registruje přímo, zatímco neutrální částice můžeme poznat až podle jejich sekundárních interakcí, při kterých dochází k produkci přímo zachytitelných nabitých částic.

Primárními interakcemi mohou být v daném uspořádání srážky  $\pi$  s protony (jádra vodíku), slabě vázanými nukleony ( $p$  nebo  $n$ ) v jádrech uhlíku a nebo přímo s jádry uhlíku. V prvních dvou případech musí být zachován celkový náboj interagujících částic (což se projeví jako sudý, resp. lichý počet nabitých produktů interakce) a jejich baryonové číslo, ve třetím případě sice musí platit tyto zákony zachování též, ale protože neznáme přesně charakter terče, nemusí být jednoduše možná identifikace produktů interakce.

V sekundárních interakcích interagují produkty vzniklé při primárních interakcích, viz. teoretická část.

K úloze byla k dispozici tabulka a graf srovnávající dolet, relativní intenzitu stopy a energii protonů,  $\pi^+$  a některých dalších částic. Tyto jsem použil pro rozlišení těchto částic. Dále jsem se řídil pokynem v návodu k úloze [1], podle kterého je možné kladně nabitě částice s energií nad 1 GeV považovat za  $\pi^+$  a všechny záporně nabitě částice (s výjimkou identifikovatelných elektronů – viz. teoretická část) za  $\pi^-$ .

Prohlédnul jsem několik snímků z komory a pořídil jsem o tom záznamy do přiložených protokolů. Hybnosti částic jsem určoval podle poloměrů jejich drah pomocí škálované šablony, délky drah pak pomocí pravítka. Vzhledem k tomu, že snímky reprezentují pouze průmět dráhy částic do jedné roviny (kolmé na směr magnetické indukce), určené hodnoty hybností a délek drah jsou pouze orientační. Na snímcích jsem identifikoval následující primární interakce

snímek 808:  $\pi + n \rightarrow 2\pi + \pi^+ + n$

snímek 779:  $\pi + p^+ \rightarrow 2\pi + \pi^+ + p^+$

snímek 708:  $\pi + C \rightarrow 3\pi + \pi^+ + p^+ + (X)^- + (Y)^+$

U snímku 708 jsem usoudil na interakci pionu s jádrem uhlíku (nebo jeho nespecifikovanou částí), neboť částice, která zanechala stopu č. 7 vylétěla proti směru pohybu primárního pionu. K tomu by z kinematických důvodů mělo docházet právě při interakci s těžkým terčem. Produkty  $(X)^-$  (záporně nabitá částice se stopou 6) a  $(Y)^+$  (kladně nabitá částice se stopou 7) jsem nedokázal přesně určit, neboť charakter stop neodpovídal žádnému z nezákladnějších částic. Domnívám se, že směr letu těchto částic byl významně skloněn vůči rovině, ve které byly snímky pořizovány. Přesnější určení by mohla umožnit druhá fotografie pořízená v rovině kolmé na daný snímek.

Dále jsem hledal příklady sekundárních interakcí

snímek 570: konverze  $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$  stopa 11 by mohla odpovídat elektronu s vysokou energií a stopa 12 pozitronu – vede mě k tomu velmi malý úhel který svírají stopy opačně nabitých částic

snímek 762: rozpad typu  $V^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$  (stopy 21 a 22), dále konverze  $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$  (stopy 31 a 32) a sekundární interakce nabitě částice (patrně  $\pi^+$  se stopou 1, produkty této interakce vytvořily stopy 11 a 12)

Bohužel, na pořizovaných protokolem jsem nenašel žádnou sekundární interakci neutrální částice, což mi při prohlížení snímků uniklo.

## Diskuze

Při identifikaci částic jsem se řídil pravidly zmíněnými výše a tabulkou a grafem vlastností stop protonů přiloženým k úloze.

Vzhledem k tomu, že jsem prohlížel pouze fotografie průmětů drah do jedné roviny, nepodařilo se mi u některých drah určit částici, která jí vytvořila. Skutečná délka dráhy částic, které se pohybovaly ve směrech významně odlišných od roviny snímku mohla být zcela jiná, totéž se do jisté míry dá vztáhnout i na intenzitu stopy takových průletů.

U krátkých stop bylo obtížné zvolit na šabloně správné zakřivení a tedy určit energii oné částici příslušející. Při interakcích mohly kromě základních částic zmíněných výše vznikat i jiné produkty.

Mohu říci, že pro identifikaci částic ze snímků pořízených v detektorech typu bublinové komory by se velmi hodily zkušenosti – po zpracování prohlédnutých záznamů bych příště patrně postupoval rychleji a všimnul bych si i věcí, které jsem napoprvé nezaznamenal.

## **Závěr**

Formuloval jsem pravidla pro jaderné interakce částic a seznámil se s vlastnostmi stop, které vytvářejí jednotlivé částice v bublinové komoře umístěné v magnetickém poli. Na snímcích jsem se pokusil nalézt příklady tří základní druhů primárních interakcí pionů s médiem v komoře a identifikovat částice účastnící se interakce. Rovněž jsem se pokusil nalézt příklady sekundárních interakcí. Záznamy z prohlížení jsou přiloženy na protokolech.

## **Literatura**

[1] studijní text k úloze č. 1; <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>

[2] Tabulka a graf parametrů stop některých částic, která byla dispozici u úlohy