

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM ...

Úloha č.

Název:

Pracoval: stud. skup. dne

Odevzdal dne:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

Pracovní úkoly

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 [1] a nalezněte z každé skupiny alespoň jednoho zástupce.

1 Teoretická část

1.1 Bublinová komora

Bublinová komora je dráhový detektor naplněný přehřátou kapalinou (nevařící se kapalina o teplotě vyšší než je bod varu). V případě průletu ionizující částice začne podél její dráhy kapalina vřít, vytvoří se bubliny. Trajektorie částic pak můžeme rekonstruovat z jejich projekce na stereoskopickém páru pořízených fotografií.

1.2 Identifikace nabitých částic v bublinové komoře

K identifikaci částic zanechávajících v komoře stopu používáme několik základních parametrů:

- poloměr křivosti dráhy v magnetickém poli R ,
- délku dráhy v komoře l , resp. dolet částice L v případě, že se částice zastaví,
- lineární hustotu bublin (počet bublin na jednotce dráhy) I ,
- počet vzniklých δ -elektronů N_b
- střední úhel mnohonásobného rozptylu $\langle\Theta\rangle$.

Pro částici o klidové hmotnosti m , rychlosti v , hybnosti p a náboji Z , platí

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

$$I = Z^2 \varphi(v), \quad (2)$$

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

$$\langle\Theta\rangle = \textit{konst.} \frac{|Z|}{pv}, \quad (4)$$

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

kde $f(v)$, $\varphi(v)$ jsou funkce rychlosti [1] a B je velikost magnetické indukce, předpokládáme $\mathbf{B} \perp \mathbf{v}$. Ze směru zakřivení dráhy určíme, zda jde o kladně či záporně nabitou částici. Poloměr křivosti měříme pomocí přiložených šablon, při odhadnuté velikosti náboje tak můžeme přímo zjistit hybnost.

1.3 Registrace elektricky neutrálních částic

Na přítomnost neutrálních částic můžeme usuzovat pouze z jimi vyvolaných sekundárních jevů:

- elektromagnetický rozpad částice, např.:

$$\pi^0 \rightarrow \gamma_{\rightarrow e^+e^-} \gamma_{\rightarrow e^+e^-},$$

kde registrujeme alespoň jeden ze vzniklých elektron-positronových párů,

- rozpad hadronu, standartně " V^0 rozpad" na dvě částice kladně a záporně nabitě

$$(\Lambda^0, K^0, \bar{\Lambda}^0, \bar{K}^0) \rightarrow (+)(-),$$

- interakce částice s terčem v komoře.

2 Výsledky měření

2.1 Snímky z bublinové komory a základní pravidla identifikace částic

Jako experimentální materiál používáme snímky pořízené ozářením dvoumetrové propanové komory svazkem π^- s hybností $p = 40 \text{ GeV}/c$ z urychlovače Ústavu fyziky vysokých energií AV SSSR v Serpuchově. Komora je naplněna propanem C_3H_8 a umístěna v mag. poli o indukci $B = 1.4 \text{ T}$ [1].

Při identifikaci částic a jevů na snímcích se držíme několika zákl. pravidel:

- Konverze γ na elektron a positron je hcarakteristická svým malým vrcholovým úhlem na rozdíl od V^0 rozpadu, jehož vrcholový úhel je podstatně větší.
- Záporně nabitě částice považujeme za π^- , výjimku tvoří pomalé částice, které považujeme za elektrony.
- Elektron a positron odlišíme od pionů na základě výrazného rozdílu hmotností, e^+ a e^- ztracují ionizaci mnoho energie a poloměr křivosti jejich dráhy R velice rychle klesá.
- Protony lze od pionů odlišit podle ionizace a doletu, relace hybnost-dolet-ionizace. To platí pouze pro částice s malými hybnostmi $< 1 \text{ GeV}/c$. Kladně nabitě částice s hybností vyšší než $1 \text{ GeV}/c$ považujeme za π^+ .
- Sekundární jev patří k primární interakci tehdy, směřuje-li jeho osa do vrcholu primární interakce.
- Relativní ionizaci I/I_0 stanovíme odhadem z tloušťky zanechané stopy.
- Základním kritériem pro posouzení interakcí jsou zákony zachování náboje a baryonového čísla.
- π^- z primárního svazku může v komoře interagovat se třemi různými terči:

1. volným (jádro H) nebo "slabě" vázaným (z jádra C) protonem, což odpovídá interakci

$$\pi^- p \rightarrow \text{baryon} \dots, \quad (6)$$

2. "slabě" vázaným neutronem v jádru uhlíku

$$\pi^- n \rightarrow \text{baryon} \dots, \quad (7)$$

3. s blíže nespecifikovanou částí jádra uhlíku

$$\pi^- C \rightarrow \dots \quad (8)$$

Přítom pouze při interakci (8) zdánlivě "neplatí" zákony zachování náboje a bar. čísla. To je samozřejmě způsobeno neurčitostí terče. Navíc pouze při (8) můžeme z kinetických důvodů (klidová hmotnost jádra uhlíku je řádově srovnatelná s velikostí hybnosti nalétávajících pionů) vyletět sekundární částice v laboratorním systému i dozadu.

2.2 Zpracované snímky

Ze zpracování jednotlivých snímků byly pořízeny záznamy (příloha). Jednotlivé stopy (a tedy částice) na snímku jsou číslovány jednociferným (z primární int.) nebo dvouciferným (ze sekundárních int., resp. jevů) číslem. Pro všechny byla změřena pomocí šablony odpovídající hybnost p v MeV/c a pravítkem změřena spodní mez dráhy l částice v detektoru, resp. přímo jejich dolet na snímku L v cm. Odhadem byla stanovena relativní ionizace I/I_0 ¹.

2.2.1 Snímek 314 - sekundární interakce nabitě částice "SN"

Na snímku byla identifikována interakce π^- z primární interakce s protonem. Navíc z konverze γ lze usuzovat na přítomnost π^0 v primární interakci, který má velice krátkou dobu života ($c\tau = 25.5 \text{ nm}$ [2]) a rozpadá se prakticky už v místě prim. int. na dvě γ (98.823 % [2]) Konverze druhého γ z rozpadu π^0 na snímku není.

primární interakce:	$\pi^- n \rightarrow n3\pi^- 2\pi^+ \pi^0,$
sekundární interakce:	$\pi^- p \rightarrow n2\pi^+ 2\pi^-,$
rozpad π^0 :	$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma_{\rightarrow e^+e^-}.$

¹Pokud políčko v záznamu není vyplněno, částice ionizovala přibližně stejně jako primární π^- , tedy rel. ionizace je cca 1.

2.2.2 Snímek 831 - konverze γ

Podobně jako výše došlo v místě prim. interakce nejspíše k rozpadu π^0 , na snímku opět jen jedna konverze.

$$\begin{aligned} \text{primární interakce:} & \quad \pi^- p \rightarrow p3\pi^-2\pi^+\pi^0, \\ \text{rozpad } \pi^0: & \quad \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma_{\rightarrow e^+e^-}. \end{aligned}$$

2.2.3 Snímek 708 - interakce s jádrem C

Interakce π^- s částí jádra uhlíku.

$$\text{primární interakce:} \quad \pi^- C \rightarrow 2p3\pi^-2\pi^+C^*.$$

2.2.4 Snímek 762a - " V^0 rozpad"

Ze vzniklého páru kladně a záporně nabitých částic lze usuzovat na přítomnost neutrálního K^0 , který je tvořen lin. kombinací vlastních hmotnostních stavů K_S^0 ($c\tau = 2.6844$ cm [2]) a K_L^0 ($c\tau = 15.34$ m [2]), přičemž K_S^0 se s pravděpodobností 69.20 % rozpadá na dva opačně nabitě piony.

$$\begin{aligned} \text{primární interakce:} & \quad \pi^- p \rightarrow nK^0\pi^+\pi^-, \\ \text{sekundární interakce:} & \quad \pi^+ p \rightarrow \pi^+ p, \\ V^0 \text{ rozpad:} & \quad K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-. \end{aligned}$$

2.2.5 Snímek 329 - sekundární interakce neutrální částice "SO"

Z primární interakce vylétající n (na snímku, ale neanalyzována) interaguje s volným protonem, přičemž vzniká opět proton a neutron, navíc několik kladně a záporně nabitých pionů.

$$\begin{aligned} \text{primární interakce:} & \quad \pi^- C \rightarrow n\dots, \\ \text{sekundární interakce:} & \quad np \rightarrow np2\pi^-2\pi^+. \end{aligned}$$

3 Diskuse výsledků

Nejdiskutabilnější samozřejmě zůstává fakt, že na snímcích analyzujeme pouze plošnou projekci drah částic a s výjimkou těch párových (označených písmeny a, b - 762a) tak nemůžeme ověřit, zda pozorované jevy probíhají v jedné rovině. Tedy není jasné, zda vrcholy sekundárních interakcí skutečně směřují do místa primární (ačkoli je to hodně pravděpodobné), měřené hybnosti jsou ve skutečnosti menší, dráhy částic naopak delší.

Vzhledem ke křivosti drah částic není snadné změřit jejich délku pomocí pravítka (příp. jiného rovného měřidla). Odhadovaná chyba se pohybuje okolo 1 až 2 cm. Každopádně prakticky všechny získané hodnoty jsou vlastně spodním odhadem skutečných.

Při měření hybností (hlavně těch větších) sedí na tvar trajektorie občas více křivek z přiložených šablon (v rámci tloušťky a rozmazanosti čar na snímku). Přirozeně vybírám tu nejmenší vhodnou. U drah, které rychle mění svůj poloměr křivosti (typicky e^+ a e^-) беру в potaz pouze několik prvních cm.

U snímku 762a, kde byl pozorován " V^0 rozpad" K_S^0 , vznikla alternativní hypotéza, že rozpadající se částice je ve skutečnosti baryon Λ^0 . Dle [1] můžeme kladné částice v komoře s hybností větší než 1 GeV/c považovat za π^+ . Pokud bychom ji však v tomto případě označili za proton (č. 22), pak by se mohlo jednat o rozpad Λ^0 . Ta se rozpadá na proton a π^- (63.9 %) s $c\tau = 7.89$ cm [2], což jinak velku dobře odpovídá pozorovanému snímku. Navíc ze hry vyřazuje "nenalezený (resp. nenalezitelný)" neutron z primární interakce.

Parametry kladné částice č. 11 ze snímku 329 překvapivě dobře odpovídaly parametrům deuteronu d , jak byly uvedeny na přiložených grafech dolet vs. hybnost, rel. ionizace vs. hybnost. Nicméně se přikláním k názoru, že jde opět o proton (ten v rámci syst. chyb odpovídá údajům také), neboť pravděpodobnost že, v interakci pn vznikne deuteron, je mizivá.

4 Závěr

Byly pořízeny záznamy z analýzy snímků z bublinové komory, identifikovány částice v pozorovaných interakcích a klasifikovány sekundární jevy. Pro každý druh sek. jevu byl konkrétně analyzován alespoň jeden případ, viz. výše nebo přiložené záznamy.

Reference

- [1] Tas P.: Studium relativistických jaderných interakcí, http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_403.pdf, 2012 (1991)
- [2] Particle Data Group, Particle Listings, <http://pdg.lbl.gov>, 2012