



Spektrum kvant gama při vysokých energiích

31.3.1992
Petr Tas

Úkol

- 1) Prohlédněte minimálně 150 snímků z vodíkové komory a vyhledejte elektron-pozitronové páry.
- 2) Změřte podle šablon poloměry křivosti jednotlivých drah a vypočtěte příslušné energie.
- 3) Sestrojte histogramy četností v závislosti na energii zvlášť pro elektrony a zvlášť pro pozitrony. Na závěr sestrojte celkový histogram energií záření gama.

Úvod

Záření gama lze interpretovat jako krátkovlnné elektromagnetické záření. Interakci s prostředím můžeme tedy popisovat jako absorpci elektromagnetického záření hmotou. Závislost intenzity záření J na tloušťce hmoty x je dána vztahem

$$J_x = J_0 \exp(-\mu \cdot x) \quad (1)$$

Kde J_0 je intenzita dopadajícího záření gama, koeficient μ má rozměr cm^{-1} a nazývá se koeficient absorpce. Zanedbáme-li nevýznamné děje které mají účinný průřez (např. fotojaderné jevy), zůstávají nám tři základní procesy.

Fotoelektrický jev
Comptonův rozptyl
Tvoření elektron-pozitronových párů

Vzhledem k tomu, že jsou první dva příspěvky zanedbatelné a proto se dále budeme zabývat pouze tvořením párů elektron-pozitron. Aby mohl vzniknout e^+e^- pár je třeba, aby dopadající foton měl určitou minimální energii, rovnající se dvěma klidovým energiím elektronu. Energie „absorbovaného“ kvanta se spotřebuje na tvoření páru s nenulovou hmotností a ne kinetickou energií vytvořených částic a odraženého jádra, v jehož poli vznikl. Páry se totiž mohou tvořit pouze v blízkosti atomového jádra nebo v poli elektronů (**Dokažte !!**). Obvyčejné převezme rozdíl impulsů jádro v jehož poli pár vzniká. Někdy může být třetí částicí také elektron. Díky jeho malé klidové hmotnosti postačí impuls k tomu, aby jeho dráhu bylo možno pozorovat v bublinové komoře. V tomto případě detekujeme elektronové trojče (trident).

Bublinová komora je zařízení na kterém je možno zobrazovat dráhy nabitých částic a tyto dráhy potom fotografovat. Nabité částice procházejí průzračnou kapalinou, kterou je komora naplněna (např. H_2 , He , Xe , C_3H_8). Stěny komory jsou průhledné, aby bylo umožněno fotografování. Objemy těchto zařízení se pohybují od několika cm^3 do několika m^3 . Za sekundu může proběhnout několik pracovních cyklů komory. (viz.1)

Experimentální uspořádání

V této úloze se jedná o problém určení energie gama kvant pomocí tvoření párů ve vodíkové bublinové komoře. Prohlíží se filmy získané na urychlovači v Hamburku. Bublinová komora byla ozářena svazkem fotonů o maximální energii 5.8 GeV, které

pocházejí od brzdného záření vysokoenergetických elektronů. Má délku 80 cm, je plněna vodíkem o hustotě 62 kg/m^3 a umístěna v magnetickém poli o střední intenzitě 2.147 T. Dráhy částic byly fotografovány třemi fotoaparáty, umístěnými ve vzdálenosti 140 cm nad středem bublinové komory. Protože gama kvanta vznikají jako produkt od brzdného záření vysokoenergetických elektronů, je jejich energetické spektrum exponenciální. Právě tuto skutečnost má naše měření potvrdit.

Na prohlížených snímcích se zkoumají zřetelné stopy páru $e^+ e^-$, u nichž je viditelné místo vzniku. Při prohlížení se dráhy jeví při velkých poloměrech jako kružnice, při malých jako spirály. Ze souborů tří fotografií by se obecně musela provádět geometrická rekonstrukce dráhy v prostoru. Ta však ukázala, že dráhy leží převážně v rovině kolmé k vektoru magnetické indukce. Tím máme práci značně usnadněnou, neboť optická osa jedné kamery je kolmá k rovinám drah. Proto odpadá prostorová rekonstrukce a měříme tedy skutečný poloměr křivosti dané dráhy.

Postup měření

Hlavním vypínačem na rozvodné desce zapneme osvětlení v promítacím přístroji. Obraz snímku z bublinové komory nastavíme do vhodné polohy zrcadlem a zaostříme jej otáčením objektivu projektoru. Pak prohlížíme postupně jednotlivé snímky. Vybíráme jen ty snímky, na nichž je patrný alespoň jeden $e^+ e^-$ pár. Zakřivení drah zjišťujeme přikládáním šablon na průmět dráhy v počáteční části. Z takto zjištěného poloměru křivosti určíme hybnost částice a její energii.

Zpracování

Z naměřených poloměrů drah určete energie elektronů a pozitronů. Odvoďte vztah mezi poloměrem křivosti dráhy a energií částice. Energetický rozsah rozdělte na intervaly a stanovte četnosti v jednotlivých intervalech. Pro elektrony a pozitrony sestojte histogramy odděleně. Pro každý jednotlivý případ určete energii gama kvanta a sestojte jejich histogram v logaritmickém měřítku. Nakonec proložte histogramem přímkou.

Aparatura a pomůcky

1. Prohlížeč stůl na snímky z bublinových komor.
2. Projekční přístroj
3. Exponovaný film
4. Sada šablon

Literatura

1. Alexandrov: Bublinové komory; Moskva 1963
2. Kenyon: Contemporary Physics; 13 (1972), No.1
3. Petržílka: Základy jaderné fyziky I, II; Praha 1967, 1968
4. F.Štěrbá, M.Suk, Z.Trka: Atomová a jaderná fyzika; Praha, str.214
5. I.Úlehla, M.Suk, Z.Trka: Atomy, jádra, částice; Praha 1990, str. 443 a 424
6. P.Tas: Studium relativistických jaderných interakcí; návod k úloze – Praktika atomové a jaderné fyziky