



Oponentský posudok na habilitačnú prácu RNDr. A. Kravčákovej, PhD.

**„Štúdium produkcie podivných častíc v zrážkach jadier Pb-Pb“**

(Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Košice)

Predložená práca je tematicky orientovaná na štúdium zvýšenej produkcie podivných baryónov, antibaryónov a  $K^0_s$  mezónov v zrážkach jadier Pb+Pb pri energii 40 GeV na urýchľovači SPS v CERN-e. Zvýšená produkcia podivných častíc v jadrových zrážkach oproti protónovo-jadrovým je jednou z prvotných navrhovaných signatúr existencie kvark-gluónovej plazmy. Práca sumarizuje výsledky získané v rámci experimentu NA57 na ktorých sa autorka podieľala.

Práca pozostáva z celkom 4 kapitol diskutujúcich základné vedecké aspekty prístupu a súboru 9 publikovaných prác bezprostredne pojednávajúcich o dosiahnutých výsledkoch. V prvej kapitole autorka diskutuje otázku existencie kvark-gluónovej plazmy a produkcie podivnosti, ako signálu nového stavu hmoty. Opis experimentu NA57, údaje z ktorého sú použité v predloženej práci, je obsahom druhej kapitoly. Tretia kapitola je venovaná metodike rekonštrukcie podivných častíc a extrakcii relevantných údajov. V štvrtej kapitole sú komentované dosiahnuté výsledky, ktoré sú detailne rozobraté v priložených publikáciách.

Experiment NA57 v CERN-e bol navrhnutý na štúdium produkcie podivných baryónov a anti-baryónov v zrážkach jadier Pb-Pb na urýchľovači SPS. Produkcia a rozpad podivných častíc sa riadia zákonom zachovania podivnosti: podivnosť sa zachováva ( $\Delta S=0$ ) v silných a elektromagnetických interakciách, a mení sa o jednotku ( $\Delta S=\pm 1$ ) v slabých interakciách. To umožňuje vysvetliť pozorovanú produkciu podivných častíc v silných interakciách a ich dlhú dobu života pred rozpadom cez slabé interakcie.

V horúcej, alebo hustej jadrovej hmote, aká sa dá očakávať krátko po Big Bangu, alebo v centre neutrónových hviezd, môže hmota existovať v stave tzv. kvark-gluónovej plazmy, kedy kvarky a gluóny sú voľné. V laboratórnych podmienkach je možné takýto stav hmoty vytvoriť v ultra-relativistických jadrových zrážkach. Už prvotné teoretické analýzy naznačovali, že produkcia podivných častíc z hustého a horúceho systému (fireball) vytvoreného v takejto zrážke by mala byť zvýšená oproti extrapolovanej produkcii týchto častíc v protón-jadrových zrážkach (typicky p+Be). Neskôr pribudli aj ďalšie charakteristiky produkcie podivných častíc indikujúce vytvorenie kvark-gluónovej plazmy.

Dr. Kravčáková sa vo svojej práci venuje viacerým takýmto charakteristikám, napr.:

- štúdium výťažkov podivných častíc,
- energetická závislosť výťažkov v Pb-Pb zrážkach,
- závislosť výťažkov od centrality interakcie,
- zvýšená produkcia podivnosti,
- analýza rozdelení priečných hmotností podivných častíc v Pb-Pb zrážkach.

Výsledky uvedené v práci potvrdzujú, upresňujú a rozširujú zistenia predchádzajúceho experimentu WA97. Potvrdilo sa, že zvýšená produkcia podivných častíc zodpovedá scenáru vytvorenia kvark-gluónovej plazmy. Najväčšie zvýšenie sa pozoruje v prípade trojnásobne podivného  $\Omega$  hyperónu, a to faktorom  $\sim 20$  v prípade centrálnych zrážok. Podrobnejšia analýza experimentálnych údajov ukazuje, že v oboch študovaných energiách Pb-Pb zrážok, 158 AGeV a 40 AGeV sa pozoruje závislosť zvýšenej produkcie podivných častíc na počte valenčných podivných kvarkov danej častice. Zvýšenie produkcie podivných častíc pri energii 40 AGeV potvrdzuje, že mechanizmus navýšenia podivnosti funguje už pri tejto energii. Prezentované výsledky pre závislosť produkcie podivných častíc na centralite ďalej spresňujú a rozširujú experimentálnu databázu tohto javu, a spolu s energetickými závislosťami produkcie podivnosti predstavujú významné ohraničenia na teoretické modely interpretácie výsledkov. V rámci práce sa výsledky analyzujú zväčša pomocou tzv. blast-wave modelu (model tlakovej (rázovej) vlny), ktorý opisuje dynamiku vymrznutia (freeze-out). Model vychádza z faktu, že kvark-gluónova plazma formovaná v jadrových relativistických zrážkach vykazuje silné kolektívne chovanie, a môže byť teda chápana pomocou predstáv relativistickej hydrodynamiky. Fitovaním spektier priečných hmotností je možné získať parametre modelu, predovšetkým tzv. teplotu vymrznutia  $T$  a rýchlosť priečnej expanzie systému  $\beta_s$ . Tieto parametre je potom možné porovnať s výsledkami viac mikroskopicky orientovaných prístupov.

Práca je napísaná veľmi precízne. Usporiadanie na komentovanú časť diskutujúcu vedecký obsah práce, a priložené separáty publikácií umožňuje kompaktnú prezentáciu výsledkov a formuláciu relevantných záverov. Vzhľadom k tomu, že prezentované vedecké výsledky prešli recenzným pokračovaním pri ich publikovaní a boli podrobené oponentúre v diskusiách na vedeckých podujatiach, nemám už k práci zásadné pripomienky. Ničmenej, zaujal ma zjavný rozdiel v produkcii podivnosti pre  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  (napr. obr.4.4 v práci, resp. Fig.10 v A10); zvýšená produkcia  $\Lambda$  významne rastie v závislosti od centrality interakcie pri oboch energiách (158 AGeV a 40 AGeV), zatiaľčo závislosť pre  $\bar{\Lambda}$  je plochá. Naproti tomu, v prípade  $K^0_s$ , ktorý tiež obsahuje  $s$  a  $\bar{s}$  sa pozoruje zvýšená produkcia v závislosti na centralite pre obidve energie. Čím sa dá toto chovanie vysvetliť? V komentárovej časti práce mi tiež trochu chýbalo zasadenie získaných výsledkov do širšieho teoretického rámca. Chápem však, že predložená práca má experimentálny kontext, a že toto očakávanie môže byť len odrazom mojej odbornej orientácie.

Záverom chcem znova vyzdvihnúť úroveň predloženej práce. Dr. Kravčáková preukázala perfektnú spôsobilosť k vedecko-výskumnej práci, k príprave experimentu, zberu a spracovania údajov, ako aj k správnej interpretácii a publikačnému spracovaniu získaných výsledkov. Významný je aj jej prínos v pedagogickej a vedecko-

organizačnej oblasti. Dosiahnuté výsledky vo všetkých oblastiach významne prekračujú požiadavky stanovené na udelenie titulu docent. Z týchto dôvodov bez výhrad doporučujem prijať predloženú prácu RNDr. Adely Kravčákovej, PhD. za habilitačnú prácu a podporujem návrh na jej menovanie docentkou.

V Bratislave, 18.12.2018

Ing. Štefan Gmuca, CSc.  
Fyzikálny ústav SAV, Bratislava