

Vedecká rada Prírodovedeckej fakulty  
Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

---

RNDr. Marek Bombara

**Autoreferát dizertačnej práce**

Štúdium zrážok p-Be pri 40 GeV/c z experimentu NA57  
na urýchľovači SPS v CERN

Na získanie vedecko-akademickej hodnosti *philosophiae doctor*  
v odbore doktorandského štúdia:

11–24–9 Jadrová a subjadrová fyzika

Košice 2005

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Ústave experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied v Košiciach.

**Predkladateľ:** RNDr. Marek Bombara  
Ústav experimentálnej fyziky SAV  
Oddelenie subjadrovej fyziky  
Watsonova 47, 043 53 Košice

**Školiteľ:** RNDr. Ivan Králik, CSc.  
Ústav experimentálnej fyziky SAV v Košiciach

**Oponenti:** .....  
.....  
.....

Autoreferát bol rozoslaný dňa .....

**Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa**

.....

pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce doktorandského štúdia vymenovanou dňa ..... predsedom spoločnej odborovej komisie vo vednom odbore 11–24–9 Jadrová a subjadrová fyzika.

**Predseda spoločnej odborovej komisie:**

Prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.

FMFI Univerzita Komenského,

842 48 Bratislava

# Obsah

1	Úvod a ciele dizertačnej práce	4
2	Experiment NA57	5
3	Výber signálu	7
4	Výpočet korekcií	8
5	Výsledky	9
6	Záver	14
7	Summary	15
	Literatúra	15
	Zoznam prác súvisiacich s danou problematikou	16

# 1 Úvod a ciele dizertačnej práce

Jednou z hlavných oblastí záujmu fyziky vysokých energií je v súčasnosti štúdium fázového prechodu jadrovej hmoty do stavu kvarkovo-gluónovej plazmy – stavu, v akom sa nachádzal vesmír niekoľko mikrosekúnd po Veľkom Tresku. Na experimentálne pozorovanie tohto stavu hmoty bol orientovaný aj program s ťažkými iónmi na urýchľovači SPS v CERN. Experimenty v tomto programe boli zamerané na pozorovanie rozličných, teoreticky predpovedaných signatúr vzniku a existencie kvarkovo-gluónovej plazmy. Výsledky experimentov študujúcich zrážky olovených iónov dali podnet k oficiálnemu vyhláseniu pozorovania nového stavu hmoty, ponášajúceho sa v mnohých svojich vlastnostiach na teoreticky predpovedanú kvarkovo-gluónovú plazmu [1].

Jedným z experimentov bežiacich na urýchľovači SPS, ktorý svojimi výsledkami prispel k objaveniu nového stavu hmoty bol aj experiment WA97, ktorý pozoroval zvýšenie produkcie podivných častíc v zrážkach Pb-Pb pri  $158 A \text{ GeV}/c$  v porovnaní so zrážkami p-Be a p-Pb [2, 3]. Efekt zvýšenej produkcie podivných častíc v zrážkach v Pb-Pb bol tým výraznejší, čím viac valenčných podivných kvarkov častica obsahovala. Tento efekt bol teoreticky predpovedaný ako dôsledok vzniku kvark-gluónovej plazmy už pred viac ako dvadsiatimi rokmi [4, 5]. Priamym pokračovateľom experimentu WA97 je experiment NA57 [6], ktorý študuje produkciu podivných a mnohonásobne podivných častíc v zrážkach p-Be a Pb-Pb pri hybnostiach  $158 A \text{ GeV}/c$  a  $40 A \text{ GeV}/c$  a pokrýva väčší interval centrality zrážky ako jeho predchodca. Príčinou štúdia produkcie častíc pri nižšej energii ( $40 A \text{ GeV}/c$ ) a zväčšenej centralite, je hľadanie možného prahu efektu zvýšenia produkcie podivných častíc pozorovaného experimentom WA97.

Primárnym cieľom dizertačnej práce je určenie výt'azkov podivných častíc  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  v zrážke p-Be pri hybnosti protónu  $40 \text{ GeV}/c$  v okolí midrapidity. Tieto výt'azky slúžia ako referenčný bod na určenie zvýšenia produkcie podivných častíc v zrážkach Pb-Pb pri  $40 A \text{ GeV}/c$ .

Ciele práce sa dajú zosumarizovať nasledovne:

- geometrická rekonštrukcia protón-berýliových dát pri  $40 \text{ GeV}/c$

- metodika výberu signálu častíc  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$
- Monte Carlo simulácie pozorovaných prípadov, výpočet korekcií, stanovenie oblasti akceptancie
- štúdium produkcie  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  v zrážkach p-Be pri 40 GeV/c, meranie diferenciálnych rozdelení  $dN/dy$  a  $dN/dm_T$ , výpočet výt'ážkov
- štúdium možnosti zvýšenej produkcie  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  v zrážkach Pb-Pb pri 40 A GeV/c

## 2 Experiment NA57

Experiment NA57 študuje výt'ážky ( $Y$ ) častíc  $K^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$ ,  $\Xi^-$ ,  $\bar{\Xi}^+$ ,  $\Omega^-$  a  $\bar{\Omega}^+$  v časti fázového objemu pokrývajúcej jednotkový interval okolo midrapidity (zodpovedajúca rapidita v laboratórnej sústave v systéme p-Be pri 40 GeV/c je  $y_0 = 2.223$ ), t. j.

$$Y = \int_{m_0}^{\infty} dm_T \int_{y_0-0.5}^{y_0+0.5} dy \frac{d^2N}{dm_T dy} \quad (1)$$

kde  $m_0$  je hmotnosť častice,  $m_T$  ( $m_T = \sqrt{m_0^2 + p_T^2}$ ) je priečna hmotnosť a  $y$  je rapidita. Za predpokladu, že rozdelenie  $dN/dy$  má v okolí midrapidity plató, výt'ážok  $Y$  môžeme napísať ako:

$$Y = \left( \frac{dN}{dy} \right)_{y^*=0} . \quad (2)$$

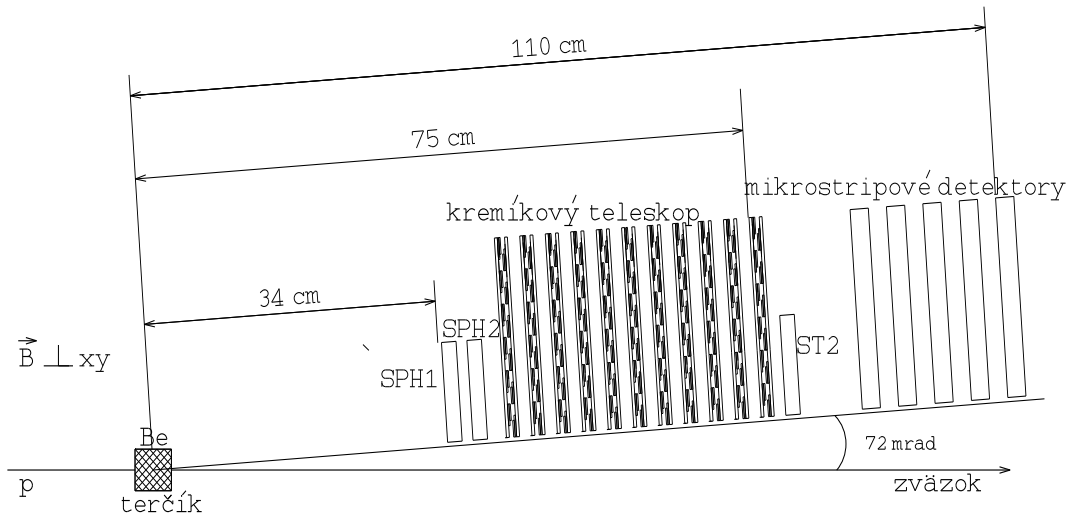
V opačnom prípade sa na to môžeme pozerat' ako na

$$Y = \left\langle \frac{dN}{dy} \right\rangle_{y^* \sim 0} . \quad (3)$$

Detekčné usporiadanie experimentu neumožňovalo priamu identifikáciu častíc. Tie boli študované cez rozpadové kanály s nabitými časticami v koncovom stave (tabuľka 1). Pri jednoznačnej identifikácii slabých rozpadov boli použité kinematické metódy. Geometria experimentu NA57 bola optimalizovaná na registráciu častíc produkovaných v oblasti midrapidity. Základnou požiadavkou kladenou na detektorový systém experimentu bola možnosť s dostatočne vysokou pravdepodobnosťou zaznamenať slabé rozpady pre všetky sledované podivné častice. Usporiadanie experimentu je schematicky načrtnuté na obrázku 1.

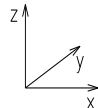
Rozpad	Doba života [s]	Vetviaci pomer
$K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	$0.89 \times 10^{-10}$	68.6%
$\Lambda \rightarrow p\pi^-$	$2.63 \times 10^{-10}$	63.9%
$\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$	$2.63 \times 10^{-10}$	63.9%
$\Xi^- \rightarrow \pi^- + \Lambda (\rightarrow p + \pi^-)$	$1.64 \times 10^{-10}$	99.9%
$\Xi^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\Lambda} (\rightarrow \bar{p} + \pi^+)$	$1.64 \times 10^{-10}$	99.9%
$\Omega^- \rightarrow K^- + \Lambda (\rightarrow p + \pi^-)$	$0.82 \times 10^{-10}$	67.8%
$\bar{\Omega}^+ \rightarrow K^+ + \bar{\Lambda} (\rightarrow \bar{p} + \pi^+)$	$0.82 \times 10^{-10}$	67.8%

Tabuľka 1: Rozpady študované experimentom NA57

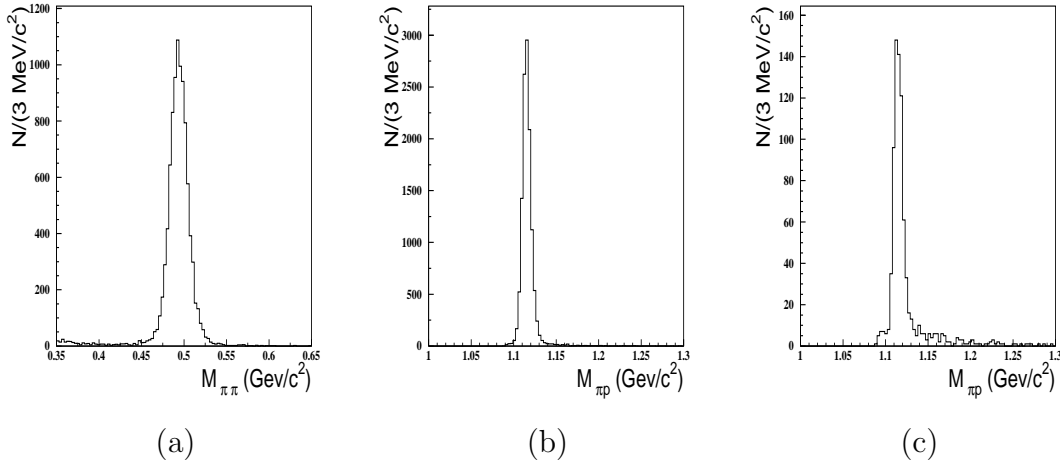


Experiment NA57

p-Be pri 40 GeV/c



Obrázok 1: Schematické usporiadanie experimentu NA57 pre zrážky p-Be



Obrázok 2: Rozdelenia  $M_{\pi^+\pi^-}$  (a),  $M_{p\pi^-}$  (b) a  $M_{\bar{p}\pi^+}$  (c) po aplikovaní selekčných kritérií

Jadrom celej detektorovej aparatúry bol dráhový detektor zložený z pixelových rovín, nazývaný aj kremíkový teleskop [7], určený na registráciu nabitých častíc. Usporiadanie pixelových rovín nám dáva trojrozmerné súradnice bodov, z ktorých sa rekonštruuje dráha nabitých častíc:  $x$  = poloha roviny,  $y$  a  $z$  = poloha pixela, cez ktorý častica preletela. Rekonštrukcia bola zameraná na hľadanie možných kandidátov na dvojčasticové slabé rozpady. Poloha zväzku nebola experimentálne zmeraná, bola dodatočne určená z rekonštruovaných prípadov, v ktorých páry nabitých častíc vychádzali priamo z terčika.

### 3 Výber signálu

Signál zo slabých rozpadov podivných častíc sme získali aplikovaním rôznych geometrických a kinematických kritérií na zrekonštruované rozpady. Keďže identifikácia nabitých častíc nebola v experimente možná, pre každý pár nabitých častíc sa počítala efektívna hmotnosť systému pre jednotlivé hypotézy rozpadov  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  a  $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ . Rozdelenia  $M_{\pi^+\pi^-}$ ,  $M_{p\pi^-}$  a  $M_{\bar{p}\pi^+}$  po aplikovaní selekčných kritérií sú na obrázku 2. Výsledný signál sme získali vylúčením prípadov veľmi vzdialených od tabuľkových hodnôt hmotností  $M_{K^0}$  a  $M_{\Lambda}$ . Pre kandidátov na rozpad  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  podmienkou:

$$|M_{\pi^+\pi^-} - M_{K^0}| < 0.35 \text{ GeV}/c^2$$

Pre kandidátov na rozpad  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  ( $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ ) podmienkou:

$$|M_{p\pi} - M_{\Lambda}| < 0.15 \text{ GeV}/c^2$$

Rozdiel v číselných hodnotách uvedených podmienok je spôsobený rôznymi šírkami výsledných rozdelení efektívnych hmotností.

## 4 Výpočet korekcií

Výsledný signál je videný v oblasti s dobrou geometrickou akceptanciou charakterizovanou rapiditou a priečnou hybnosťou, čo úzko súvisí s geometriou experimentu. Na určenie výt'azku častíc musíme každý prípad vo výslednom signáli korigovať na geometrickú akceptanciu, účinnosť detekcie a účinnosť rekonštrukcie, t. j. priradiť mu váhu.

Na začiatku vážiacej procedúry generuje simulačný program častice s rovnakou rapiditou a priečnou hybnosťou ako má vážený prípad z výsledného signálu. Každý generovaný prípad sa potom vloží do simulovaného detekčného systému a podrobí sa pri rekonštrukcii a analýze tým istým krokom ako skutočné dáta. Váha jedného prípadu sa potom vypočíta ako:

$$váha = \frac{n_g}{n_p}, \quad (4)$$

kde  $n_g$  je počet generovaných častíc a  $n_p$  je počet častíc, ktoré prešli celou vážiacou procedúrou. Váha prípadu tak predstavuje počet častíc s rovnakou rapiditou a priečnou hybnosťou, ktoré museli v interakcii p-Be vzniknúť, aby aspoň jedna z nich bola prítomná vo výslednom signáli. Konečný počet vážených prípadov kandidátov  $K^0$  predstavoval 97,6% výsledného signálu. Počet vážených prípadov v signáli pre  $\Lambda$  predstavoval 26% , a pre  $\bar{\Lambda}$  100% .

Oblasť s dobrou geometrickou akceptanciou je oblasť fázového priestoru určená rapiditou a priečnou hybnosťou, ktorú experiment svojou detekčnou aparaturou dostatočne dobre pokrýva. V experimente NA57 je určená aktívnou plochou kremíkových rovín a sklonom kremíkového teleskopu ku zväzku. K určeniu výt'azku častíc je vhodné vylúčiť z tejto oblasti prípady s malou geometrickou akceptanciou, ktoré by do výsledkov vnášali veľkú odchýlku. Preto z kinematických rozdelení ( $y, p_T$ ) výsledných signálov vyberieme oblasť, resp. kinematické okno s najnižšou fluktuáciou váh.



Rozpad	$K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	$\Lambda \rightarrow p\pi^-$ ( $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ )
$y_{min}$	2.5	1.6
$y_{max}$	3.0	3.0
$p_{Tmin}(GeV/c)$	0.5	0.3
$p_{Tmax}(GeV/c)$	1.5	1.5
$\Theta_{min}(rad)$	0.095	0.090
$\Theta_{max}(rad)$	0.141	0.147

Tabuľka 2: Kinematické okná pre rozpady  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  a  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  ( $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ ). Uhol  $\Theta$  je uhol, ktorý zvierá hybnosť častice so smerom letu zväzku a definuje hranice okna v  $\eta$  (pseudorapidite).

Rozdelenia  $(y, p_T)$  prípadov z výsledných signálov a vybrané kinematické okná s najmenšími fluktuáciami váh pre rozpady  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  a  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  ( $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ ) sú zobrazené na obrázku 3. Hranice okien sú uvedené v tabuľke 2.

## 5 Výsledky

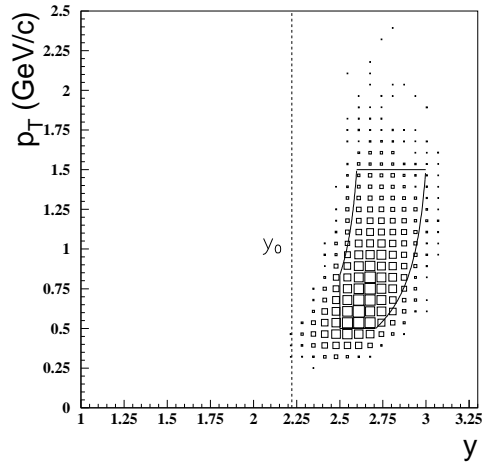
Suma váh prípadov vo vybranom kinematickom okne predstavuje počet častíc produkovaných v danej oblasti fázového priestoru. Je potrebné extrapolovať tento výsledok do takej oblasti  $(y, p_T)$ , v ktorej by bol výsledok porovnateľný s výsledkami z ostatných experimentov. Vhodnou oblasťou je oblasť celého intervalu priečných hybností a jednotkovej rapidity so stredom v midrapidite:

$$\begin{aligned} 0 \text{ GeV}/c &< p_T \\ |y - y_0| &< 0.5 . \end{aligned}$$

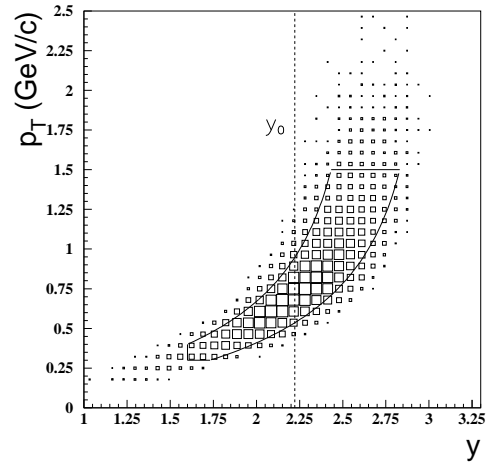
Celkový výt'azok je potom definovaný vzt'ahom (1). Dvojité diferenciálne rozdelenie  $(y, m_T)$  každej študovanej častice sa fitovalo podľa vzt'ahu

$$\frac{d^2N}{dm_T dy} \propto f(y)m_T.e^{-\frac{m_T}{T}} \quad (5)$$

metódou maximálnej vierohodnosti [8]. Predpokladali sme, že šírka oblasti -  $|y - y_0| < 0.5$  je dostatočne úzka na to, aby rozdelenie  $dN/dy$  bolo v danej oblasti približne konštantné ( $f(y) = \text{konšt.}$ ). Výsledky fitu sú na obrázku 4. Fitovaním získané hodnoty parametrov  $T$  rozdelení priečných hmotností pre študované častice sú uvedené v tabuľke 3. Označme si sumu váh vo vybranom kinematickom okne ako  $S_w$  a sumu váh v extrapolovanom okne ako  $S_{ext}$ . Výpočet extrapolácie sa potom

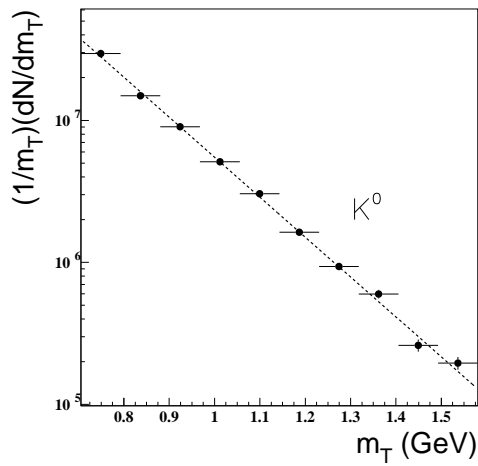


(a)

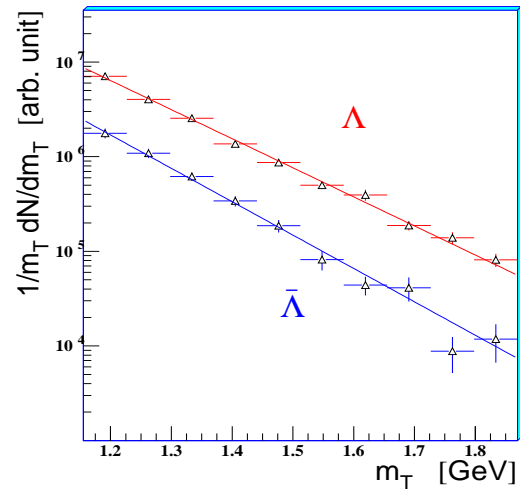


(b)

Obrázok 3: Rozdelenia  $(y, p_T)$  prípadov z výsledných signálov a vybrané kinematické okná pre rozpady  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  (a) a  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  ( $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ ) (b)



(a)



(b)

Obrázok 4: Rozdelenie priečných hmotností pre -  $K^0$  (a) a  $\Lambda$  ( $\bar{\Lambda}$ ) (b)

	$K^0$	$\Lambda$	$\bar{\Lambda}$
$T[MeV]$	$154 \pm 2$	$141 \pm 4$	$123 \pm 6$

Tabuľka 3: Hodnoty parametra  $T$  pre  $K^0, \Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$

realizuje podľa vzťahu:

$$S_{ext} = ext\_fact.S_w \quad (6)$$

kde  $ext\_fact$  je extrapoláčny faktor (pre  $f(y) = \text{konšt.}$ ):

$$ext\_fact = \frac{\int_0^{\infty} m_T \cdot e^{-\frac{m_T}{T}} dm_T}{\int_{m_{T_1}}^{m_{T_2}} (y_2(m_T) - y_1(m_T)) \cdot m_T \cdot e^{-\frac{m_T}{T}} dm_T}, \quad (7)$$

kde rozdiel rapidít  $y_2(m_T) - y_1(m_T)$  predstavuje šírku kinematického okna pre dané  $m_T$ . Sumu váh v extrapolovanom okne musíme ďalej vynásobiť faktorom rovnajúcim sa pomeru vážených prípadov v kinematickej oblasti ku všetkým prípadom v danej oblasti. Extrapolovaný výt'azok sa potom vyjadří ako:

$$Y = \left( \frac{dN}{dy} \right)_{y^*=0} = \frac{S_{ext}}{N_I \cdot BR}, \quad (8)$$

pričom  $BR$  je vetviaci pomer uvedený v tabuľke 1 a  $N_I$  je celkový počet interakcií, určený ako

$$N_I = (1 - e^{-\frac{L}{\lambda}}) \cdot flux \cdot fract, \quad ,$$

kde  $\lambda$  predstavuje predstavuje interakčnú dĺžku protónu s hybnosťou 40 GeV/c v berýliu,  $L$  je hrúbka terčika (8% z  $\lambda$ ),  $flux$  je počet častíc neseparovaného zväzku, ktoré dopadli na terčik a  $fract$  vyjadruje podiel protónov vo zväzku.

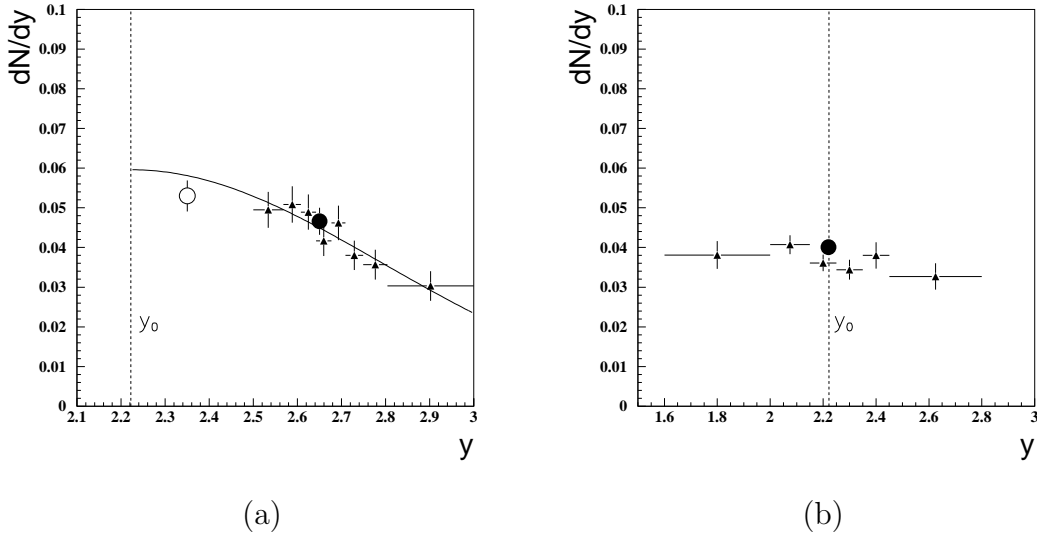
Analýza  $dN/dy$  rozdelení ukázala, že predpoklad konštantnej funkcie  $f(y)$  vo vzťahu (7) je rozumný pre  $\Lambda$ , pre  $K^0$  však neplatí, ako to vidíme na obrázku 5. Uvedené hodnoty  $dN/dy$  jednotlivých intervalov rapidity predstavujú extrapolované výt'azky získané extrapoláciou sumy váh prípadov v jednotlivých intervaloch do toho istého intervalu. Rozdelenie  $dN/dy$  pre  $K^0$  môžeme v prvom priblížení parametrizovať Gaussovou funkciou:

$$f(y) = A \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{y-y_0}{\sigma} \right)^2}$$

Parametre funkcie získané fitovaním rozdelenia  $dN/dy$ :

$$\sigma = 0.569 \pm 0.067$$

$$A = 0.059 \pm 0.005$$



Obrázok 5: Rozdelenia  $dN/dy$  s celkovou produkciou pre predpoklad konštantnej funkcie od rapidity (plný kruhový symbol) a predpokladom gaussovského rozdelenia rapidity (prázdny kruhový symbol) -  $K^0$  (a) a  $\Lambda$  ( $\bar{\Lambda}$ ) (b)

Na obrázku 5(a) vidíme fitované rapiditné rozdelenie spolu s výt'azkom vybranej kinematickej oblasti za predpokladu  $f(y) = \text{konšt.}$  (plný kruh), čo predstavuje približne strednú hodnotu výt'azkov jednotlivých rapiditných intervalov (vzťah (3)). Otvorený kruhový symbol znamená celkový výt'azok pre predpoklad gaussovského rozdelenia rapidity. Hodnota výt'azku sa v tomto prípade posunula do vyšších hodnôt, smerom k  $(dN/dy)_{y^*=0}$ . Rozdelenie  $dN/dy$  pre  $\bar{\Lambda}$  sme nevyšetrovali vzhľadom na nízky počet prípadov vo výslednom signáli.

Získané výt'azky častíc  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  použijeme pri výpočte produkcie týchto častíc v zrážkach Pb-Pb vzhľadom ku zrážkam p-Be:

$$E = \left( \frac{Y}{\langle N_{wound} \rangle} \right)_{Pb-Pb} / \left( \frac{Y}{\langle N_{wound} \rangle} \right)_{p-Be},$$

kde  $\langle N_{wound} \rangle$  je počet nukleónov absolvujúcich v interakcii aspoň jednu nepružnú zrážku [9]. Zrážky Pb-Pb pri 40 A GeV/c boli rozdelené do piatich intervalov centrality (tried), ktorých hodnoty  $\langle N_{wound} \rangle$  sú uvedené v tabuľke 4 spolu s hodnotami výt'azkov  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  a  $K^0$  v zrážkach Pb-Pb [D1] a hodnotami nami vypočítaných výt'azkov v p-Be pri 40 A GeV/c. Uvedený výt'azok pre  $K^0$  bol počítaný za predpokladu rovnomerného rozdelenia  $dN/dy$ . Výt'azky podivných častíc v zrážkach Pb-Pb pri hybnosti 40 A GeV/c na jeden nukleón v oblasti jednotkovej rapidity so stredom

Trieda	$\langle N_{wound} \rangle$	$\Lambda$	$\bar{\Lambda}$	$K^0$
p-Be	2.5	$0.0310 \pm 0.0009$	$0.00188 \pm 0.00015$	$0.0466 \pm 0.0034$
Pb-Pb(0)	$58 \pm 4$	$1.549 \pm 0.133$	$0.044 \pm 0.006$	$1.284 \pm 0.172$
Pb-Pb(I)	$117 \pm 4$	$3.824 \pm 0.167$	$0.136 \pm 0.008$	$3.693 \pm 0.214$
Pb-Pb(II)	$204 \pm 3$	$9.147 \pm 0.293$	$0.246 \pm 0.013$	$7.971 \pm 0.383$
Pb-Pb(III)	$287 \pm 2$	$15.238 \pm 0.532$	$0.350 \pm 0.019$	$14.064 \pm 0.679$
Pb-Pb(IV)	$349 \pm 1$	$21.117 \pm 0.775$	$0.446 \pm 0.030$	$18.384 \pm 1.100$

Tabuľka 4: Výt'ažky častíc  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  a  $K^0$  v zrážkach p-Be a Pb-Pb

v midrapidite normované na výt'ažky v zrážkach p-Be v závislosti od  $\langle N_{wound} \rangle$  sú na obrázku 6. Efekt zvýšenej produkcie podivných častíc pozorovaný pri hybnosti 158 A GeV/c je viditeľný aj pri hybnosti 40 A GeV/c. Nárast produkcie podivných častíc vykazuje tú istú hierarchiu ako pri 158 A GeV/c:  $E(\Lambda) < E(\Xi^-)$ ,  $E(\bar{\Lambda}) < E(\bar{\Xi}^+)$ . V najcentrálnejších zrážkach Pb-Pb je tento efekt pri 40 A GeV/c ešte výraznejší. Pozorované zvýšenie produkcie podivných častíc poukazuje na nižší energetický prah nárastu podivnosti. Výsledky experimentu NA49 naznačujú, že spomínaný energetický prah by mohol ležať niekde okolo hodnoty 30 A GeV/c [10].

## 6 Záver

Dizertačná práca sa zaoberá štúdiom zrážok p-Be pri hybnosti protónu 40 GeV/c z experimentu NA57 na SPS v CERN. Štúdium bolo fokusované na určenie výt'ažkov  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  na jednotku rapidity so stredom v midrapidite ( $y^* = 0$ ) a na popísanie metodiky získavania týchto hodnôt. Najdôležitejšie výsledky práce sa dajú zhrnúť do nasledovných bodov:

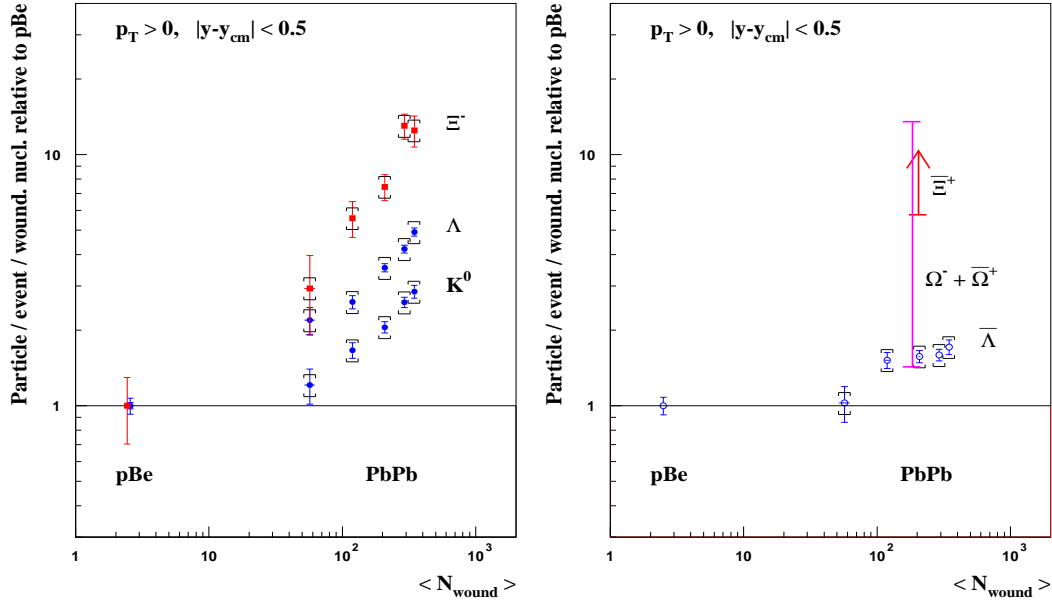
- boli zmerané  $m_T$  spektrá pre  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  a určené parametre exponenciálneho sklonu týchto spektier:

$$T(K^0) = 154 \pm 2 \text{ MeV}$$

$$T(\Lambda) = 141 \pm 4 \text{ MeV}$$

$$T(\bar{\Lambda}) = 123 \pm 6 \text{ MeV}$$

- boli zmerané  $dN/dy$  pre  $K^0$  a  $\Lambda$ . Výsledky ukazujú na plató v rozdelení  $dN/dy$  pre  $\Lambda$  v okolí midrapidity, pre  $K^0$  sa našla možná parametrizácia  $dN/dy = A \cdot \exp(-0.5((y - y_0)/\sigma)^2)$



Obrázok 6: Výťažky podivných častíc v zrážkach Pb-Pb pri hybnosti 40 A GeV/c na jeden nukleón v oblasti jednotkovej rapidity so stredom v midrapidite normované na výťažky v zrážkach p-Be v závislosti od  $\langle N_{wound} \rangle$

- boli zmerané výťažky  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  v zrážkach p-Be pri 40 GeV/c:

$$Y_{K^0} = 0.0466 \pm 0.0034$$

$$Y_{\Lambda} = 0.0310 \pm 0.0009$$

$$Y_{\bar{\Lambda}} = 0.00188 \pm 0.00015$$

- kombinovaním nami získaných výťažkov  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  v zrážkach p-Be pri 40 GeV/c a výťažkov v zrážkach Pb-Pb pri 40 A GeV/c sme zmapovali závislosť efektu zvýšenej produkcie  $K^0$ ,  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  na centralite zrážky Pb-Pb

Ciele dizertačnej práce boli splnené. Výsledky pre  $\Lambda$  a  $\bar{\Lambda}$  boli publikované v [D1] a prezentované na medzinárodných konferenciách Hot Quarks [D2], Strangeness in Quark Matter [D3], Rencontres de Moriond on QCD and High-Energy Hadronic Interactions [D4] a Quark Matter [D5].

## 7 Summary

In this work the p-Be collisions at 40 GeV/c in NA57 experiment at CERN SPS were analysed. These collisions are expected to constitute a reference sample for a study

of the strangeness production enhancement in Pb-Pb collisions. We concentrated on the analysis of strange particles  $K^0$ ,  $\Lambda$  and  $\bar{\Lambda}$ . The particle signals were extracted by reconstructing their weak decays into final states containing only charged particles:  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  and  $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$  using geometric and kinematic constraints. The data were corrected for geometrical acceptance and detector and reconstruction efficiencies on an event-by-event basis. For each particle species we defined the acceptance window using a Monte Carlo simulation of the apparatus.

The double-differential  $(y, m_T)$  distribution for each particle species has been parametrized assuming the rapidity distribution to be flat and the transverse momenta distribution to be exponential within our acceptance region. We extrapolated the yield measured in the selected acceptance window to a common phase space window covering full  $p_T$  and one unit of rapidity centred at mid-rapidity. By comparison of yields in p-Be collisions and yields in Pb-Pb collisions we obtained the enhancements of strange production. The investigation of rapidity spectra shows non-flat behaviour for  $K^0$ . A significant enhancement of strangeness production in Pb-Pb collisions with respect to p-Be collisions is observed in the 40 GeV/c data.

## Literatúra

- [1] HEINZ, U.-JACOB, M. 2000. *Evidence for a New State of Matter: An Assessment of the Results from the CERN Lead Beam Programme*.  
E-print: <http://arxiv.org/pdf/nucl-th/0002042>
- [2] ANDERSEN, E.*et al.*: Strangeness enhancement at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at 158 A GeV/c. In: *Physics Letters B*, Vol. 449, (1999), p. 401-406.
- [3] ANTINORI, F.*et al.*: Production of strange and multistrange hadrons in nucleus-nucleus collisions at the SPS. In: *Nuclear Physics A*, Vol. 661, (1999), p. 130-139.
- [4] RAFELSKI, J. - MÜLLER, B.: Strangeness Production in the Quark-Gluon Plasma. In: *Physical Review Letters*, Vol. 48, no. 16, (1982), p. 1066-1069.,  
Erratum In: *Physical Review Letters*, Vol. 56, no. 21, (1986), p. 2334.

- [5] KOCH, P. - MÜLLER, B. - RAFELSKI, J.: Strangeness in relativistic heavy ion collisions. In: *Physics Reports*, Vol. 142, no. 4, (1986), p. 167-262.
- [6] CALIANDRO, R. *et al.*: Study of strange and multistrange particles in ultra-relativistic nucleus-nucleus collisions. In: CERN/SPSLC 96-40 SPSLC/P300, Geneva: CERN, 1996.
- [7] MANZARI, V. *et al.*: Experiment NA57 at the CERN SPS. In: *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, Vol. 25, no. 2, (1999), p. 473-479.  
MANZARI, V. *et al.*: Silicon pixel detectors for tracking in NA57. In: *Nuclear Physics A*, Vol. 661, (1999), p. 716-720.
- [8] EADIE, W.T. - DRIJAD, D. - JAMES, F.E. - ROOS, M. - SADOUET, B.: Statistical methods in experimental physics. Amsterdam: North Holland, 1971. ISBN 0-4441-0117-9. p. 172-180.
- [9] CARRER, N. *et al.*: Determination of the event centrality in the WA97 and NA57 experiments. In: *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, Vol. 27, no. 3, (2001), p. 391-396.
- [10] GAZDZICKI, M. *et al.*: Report from NA49. In: *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, Vol. 30, no. 8, (2004), p. S701-S708.

## Zoznam prác súvisiacich s danou problematikou

- [D1] BRUNO, G.E., ..., BOMBARA, M., ...: New results from the NA57 experiment. In: *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, Vol. 30, no. 8, (2004), p. S717-S724.
- [D2] ELIA, D., ..., BOMBARA, M., ...: Strange particle production in 158 and 40 A GeV/c Pb-Pb and p-Be collisions. Prepared for *the Hot Quarks 2004 conference, Taos Valley, New Mexico, USA, 18-24 July 2004*. Accepted for publication in *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*.  
E-print: <http://arxiv.org/pdf/nucl-ex/0410034>
- [D3] ŠÁNDOR, L., ..., BOMBARA, M., ...: Results on strangeness production from the NA57 experiment. Prepared for *the SQM2004 - 8th International*



*Conference on Strangeness in Quark Matter, Cape Town, South Africa, 15-20 September 2004.* Accepted for publication in *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*.

[D4] VIRGILI, T., ..., BOMBARA, M., ...: Recent results from NA57 on strangeness production in p-A and Pb-Pb collisions at 40 A GeV/c and 158 A GeV/c. To appear in *the proceedings of 39th Rencontres de Moriond on QCD and High-Energy Hadronic Interactions, La Thuile, Italy, 28 March - 4 April 2004*.

E-print: <http://arxiv.org/pdf/hep-ex/0405052>

[D5] ELIA, D., ..., BOMBARA, M., ...: Energy dependence of  $K_S^0$  and hyperon production at CERN SPS. Presented at *Quark Matter, Oakland, USA, 11-17 January 2004*.

E-print: <http://www-rnc.lbl.gov/qm2004/talks/parallel/Friday02/DElia.pdf>