Exkluzívna femtoskopia

Vedúci práce: Doc. Boris Tomášik

Jakub Cimerman

27.9.2017

Emisná funkcia

- Emisná funkcia je definovaná ako pravdepodobnosť, že častica so štvorhybnosťou p bude emitovaná z časopriestorového bodu x
- Formálne sa jedná o Wignerovu hustotu fázového priestoru
- Integrovaním emisnej funkcie cez objem horúcej hmoty dostávame spektrum

$$P(p_t, \phi) = \frac{\mathrm{d}^3 N}{p_t \mathrm{d}p_t \mathrm{d}Y \mathrm{d}\phi} = \int S(x,p) \mathrm{d}^4 x$$

- Spektrum môžeme rozložiť do Fourierovho radu, kde jednotlivé koeficienty môžeme vyjadriť ako

$$v_n(p_t) = \frac{\int_0^{2\pi} P(p_t, \phi) \cos(n(\phi - \theta_n)) \mathrm{d}\phi}{\int_0^{2\pi} P(p_t, \phi) \mathrm{d}\phi}$$

Dvojčasticová korelačná funkcia

- Korelačná funkcia je definovaná ako pomer dvojčasticového a súčinu dvoch jednočasticových spektier
- Korelačnú funkciu uvažujeme v tvare

$$C(q,K) - 1 \approx \frac{\left|\int \mathrm{d}^4 x S(x,K) \exp(iqx)\right|^2}{\left(\int \mathrm{d}^4 x S(x,K)\right)^2}$$

  - $K = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$, $q = p_1 - p_2$

- Túto funkciu môžeme aproximovať Gaussovským rozdelením

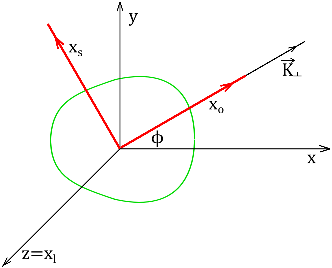
$$\begin{aligned} C(q,K) - 1 &\approx \exp\left(-q^\mu q^\nu \langle \tilde{x}_\mu \tilde{x}_\nu \rangle\right) \\ &= \exp\left(-R_o^2 q_o^2 - R_s^2 q_s^2 - R_l^2 q_l^2 - 2R_{os}^2 q_o q_s - 2R_{ol}^2 q_o q_l - 2R_{sl}^2 q_s q_l\right) \end{aligned}$$

  - kde $q_0 = \vec{q} \cdot \vec{K} / K_0$

HBT polomery

- HBT polomery R_i nám dodávajú informáciu o veľkosti homogénnej časti horúcej hmoty

$$R_o^2(K) = \left\langle \left(\tilde{x}_o - \beta_o \tilde{t}\right)^2 \right\rangle (K)$$
$$R_s^2(K) = \left\langle \tilde{x}_s^2 \right\rangle (K)$$
$$R_l^2(K) = \left\langle \left(\tilde{x}_l - \beta_l \tilde{t}\right)^2 \right\rangle (K)$$
$$R_{os}^2(K) = \left\langle \left(\tilde{x}_o - \beta_o \tilde{t}\right) \tilde{x}_s \right\rangle (K)$$
$$R_{ol}^2(K) = \left\langle \left(\tilde{x}_o - \beta_o \tilde{t}\right) \left(\tilde{x}_l - \beta_l \tilde{t}\right) \right\rangle (K)$$
$$R_{sl}^2(K) = \left\langle \left(\tilde{x}_l - \beta_l \tilde{t}\right) \tilde{x}_s \right\rangle (K)$$



Blast-wave model

- Tento teoretický model je charakterizovaný emisnou funkciou

$$S(x,p)\mathrm{d}^4x = \frac{m_t\cosh(\eta-Y)}{(2\pi)^3}\mathrm{d}\eta\mathrm{d}x\mathrm{d}y\frac{\tau\mathrm{d}\tau}{\sqrt{2\pi}\Delta\tau}\exp\left(-\frac{(\tau-\tau_0)^2}{2\Delta\tau^2}\right)\exp\left(-\frac{p^\mu u_\mu}{T}\right)\Theta\left(1-\overline{r}\right)$$

- kde

$$p_\mu u^\mu = m_t\cosh\rho\cosh(\eta-Y) - p_t\sinh\rho\cos(\phi-\theta_b)$$

$$\bar{r} = \frac{r}{R(\theta)}$$

  - θ_b je uhol kolmý na povrch horúcej hmoty
- Priestorová anizotropia opisuje tvar horúcej hmoty

$$R(\theta) = R_0\left(1-\sum_{n=2}^{\infty}a_n\cos\left(n(\theta-\theta_n)\right)\right)$$

- Expanzná anizotropia opisuje rozdelenie priečnej rapidity

$$\rho(\overline{r},\theta_b) = \overline{r}\rho_0\left(1+\sum_{n=2}^{\infty}2\rho_n\cos\left(n(\theta_b-\theta_n)\right)\right)$$

Gaussovská emisná funkcia

- Uvažujme gaussovskú emisnú funkciu

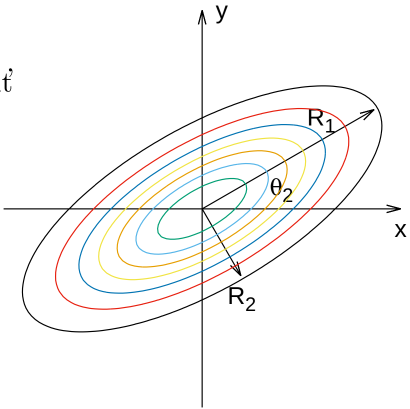
$$S(x,y) \propto e^{-ax^2-by^2+2cxy}$$

- Parametre a, b, c môžeme vyjadriť ako

$$a = \frac{\cos^2\theta_2}{2R_1^2} + \frac{\sin^2\theta_2}{2R_2^2}$$

$$b = \frac{\sin^2\theta_2}{2R_1^2} + \frac{\cos^2\theta_2}{2R_2^2}$$

$$c = -\frac{\sin 2\theta_2}{4R_1^2} + \frac{\sin 2\theta_2}{4R_2^2}$$



- Korelačná funkcia tejto emisnej funkcie je potom

$$C(q)-1 = e^{-R_1^2(q_o\cos\theta_2 - q_s\sin\theta_2)^2 - R_2^2(q_o\sin\theta_2+q_s\cos\theta_2)^2}$$

Ustredňovanie korelačnej funkcie

- V experimentoch počítame korelačné funkcie ustredňovaním cez množstvo udalostí ⇒ to môže ovplyvniť tvar korelačnej funkcie
- Uvažujme rovnomerné rozdelenie uhlu θ_2
- Ustrednenú korelačnú funkciu vypočítame ako

$$\int dR_1 \int dR_2 \int d\theta_2 (C(q) - 1)$$

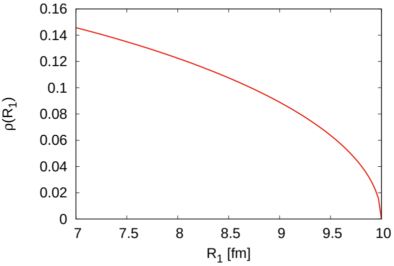
- Výslednú funkciu tiež môžme nafitovať Lévyho rozdelením

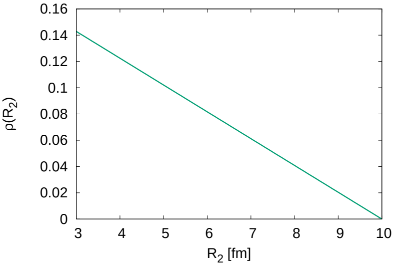
$$C(q) - 1 \approx \exp(-|qR|^{\alpha})$$

Rozdelenia polomerov

- Polomery horúcej hmoty môžu mať rozdelenie
  - rovnomerné
  - nerovnomerné, závislé od zrážkového parametra (ktorý má lineárnu hustotu pravdepodobnosti) rovnicou

$$R_1 = \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{4}} \qquad R_2 = R - \frac{b}{2}$$





Ustredňovanie korelačnej funkcie

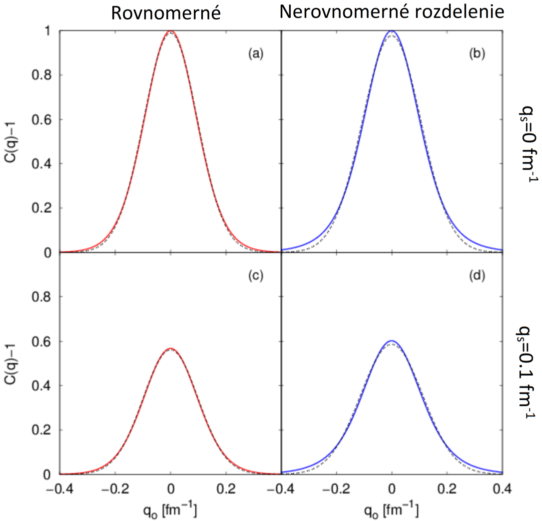
- Na určenie, ako veľmi sú tieto funkcie vzdialené od gaussovskej funkcie, použijeme Lévyho rozdelenie

(a) $\alpha = 1.8659$

(b) $\alpha = 1.8661$

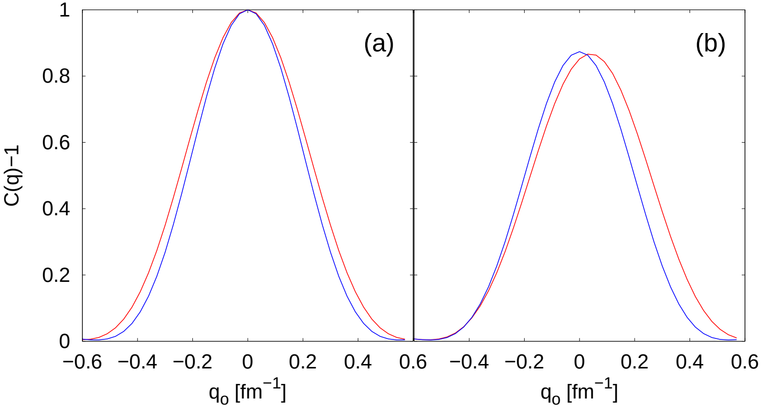
(c) $\alpha = 1.7052$

(d) $\alpha = 1.6806$



Korelačná funkcia v BW modeli

- Podobne môžeme skúmať závilosť uhlového ustredňovania v Blast-wave modeli
- Ustredňovanie dokáže zmeniť tvar korelačnej funkcie o $0,5\%$



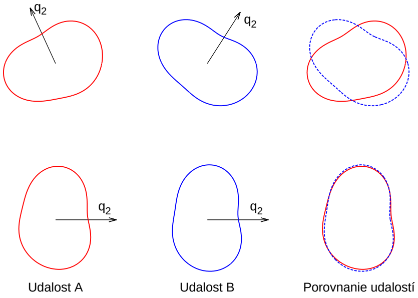
Simulácia produkcie častíc

- Vygenerujeme udalosti pomocou programov DRAGON (DRoplet and hAdron GeneratOr for Nuclear collisions) a AMPT (A Multi-Phase Transport)
- Udalosti zoradíme podľa tvaru (Event Shape Sorting)
- Korelačné funkcie vygenerujeme pomocou programu CRAB (CoRrelation After Burner)
- Nafitovaním korelačných funkcií dostaneme korelačné polomery, ktorých uhlovú závislosť chceme skúmať

Otáčanie udalostí

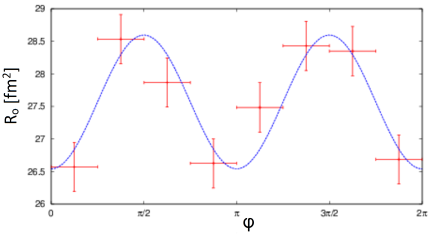
- Udalosti môžu byť podobné, aj keď to tak na prvý pohľad nevyzerá
- Musíme otočiť všetky udalosti tak, aby mali rovnaký vektor

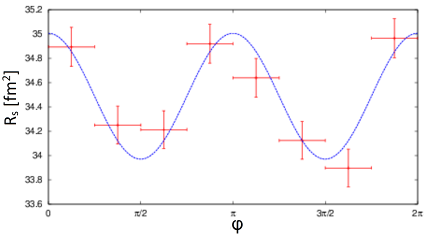
$$\vec{q_2} = \left(\sum \cos(2\phi_i), \sum \sin(2\phi_i)\right)$$



Azimutálna závislosť korelačných polomerov

- Keď máme všetky udalosti otočené rovnakým smerom, anizotropia druhého rádu sa nám nasčíta, zatiaľ čo tretí rád sa navzájom vyruší
- To môžeme pozorovať aj na výslednej azimutálnej závislosti korelačných polomerov

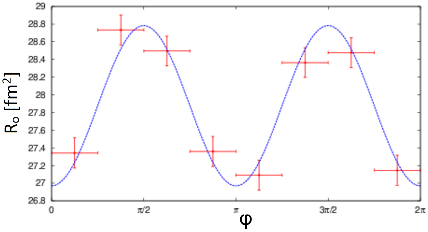


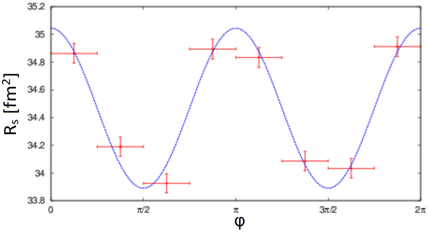


- 10 000 udalostí vygenerovaných DRAGON-om

Azimutálna závislosť korelačných polomerov

- Keď máme všetky udalosti otočené rovnakým smerom, anizotropia druhého rádu sa nám nasčíta, zatiaľ čo tretí rád sa navzájom vyruší
- To môžeme pozorovať aj na výslednej azimutálnej závislosti korelačných polomerov

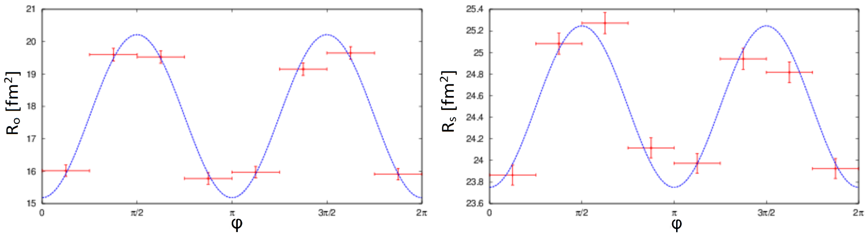




- 200 000 udalostí vygenerovaných DRAGON-om

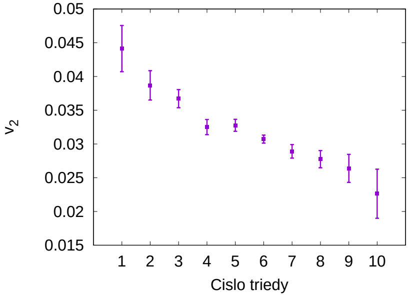
Azimutálna závislosť korelačných polomerov

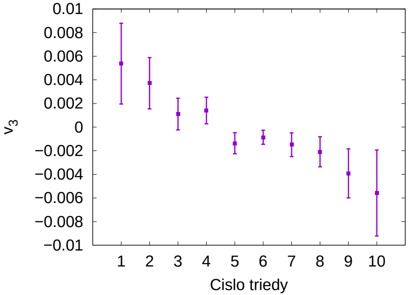
- Keď máme všetky udalosti otočené rovnakým smerom, anizotropia druhého rádu sa nám nasčíta, zatiaľ čo tretí rád sa navzájom vyruší
- To môžeme pozorovať aj na výslednej azimutálnej závislosti korelačných polomerov



- 5 000 udalostí vygenerovaných programom AMPT

- Po zoradení udalostí podľa tvaru sme ich rozdelili do desiatich tried
- Priemerný tvar v jednotlivých triedách je dobre opísaný uhlovým rozdelením častíc v triedach, z ktorého dokážeme určiť v_2 a v_3 pre jednotlivé triedy

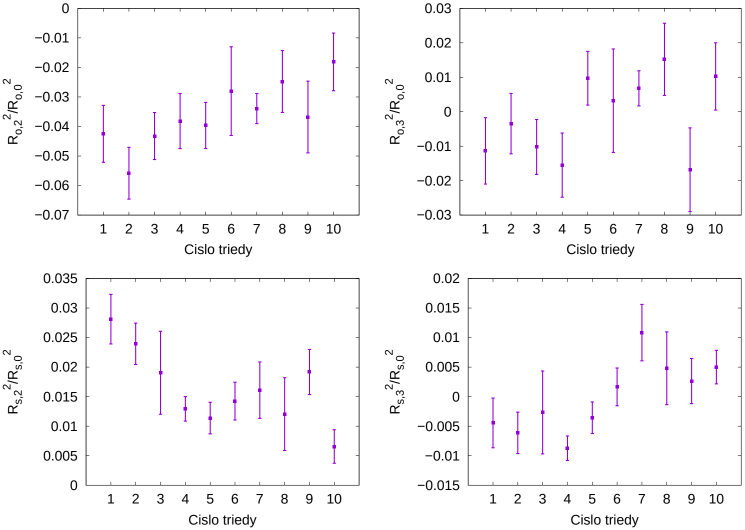




Korelácie v podobných udalostiach

- V jednotlivých triedach udalostí môžeme určiť azimutálnu závislosť korelačných polomerov
- Môžeme tak vidieť anizotropiu druhého a tretieho rádu súčasne
- Navyše môžeme vidieť, ako sa priemerný tvar udalosti mení z triedy na triedu
- Kvôli časovej náročnosti programov sme tento proces použili iba na vzorku 10 000 udalostí vygenerovaných DRAGON-om
- R_o^2 a R_s^2 sme rozložili do Fourierovho radu a určili koeficienty tohto radu

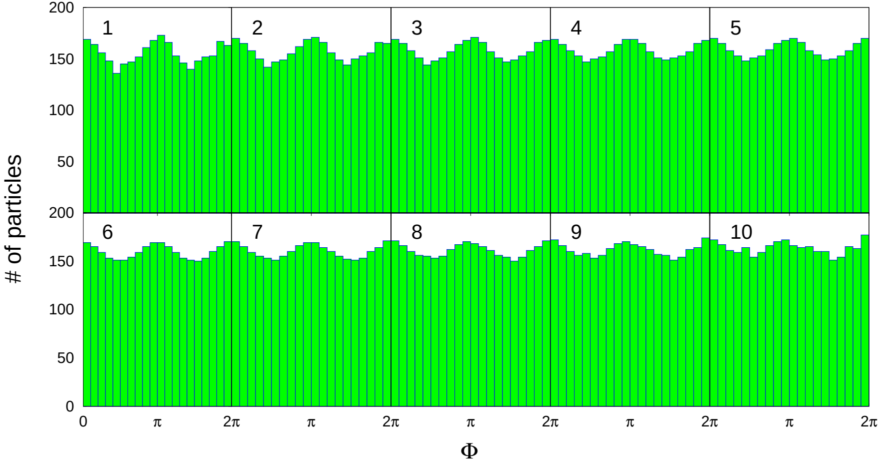
Korelácie v podobných udalostiach



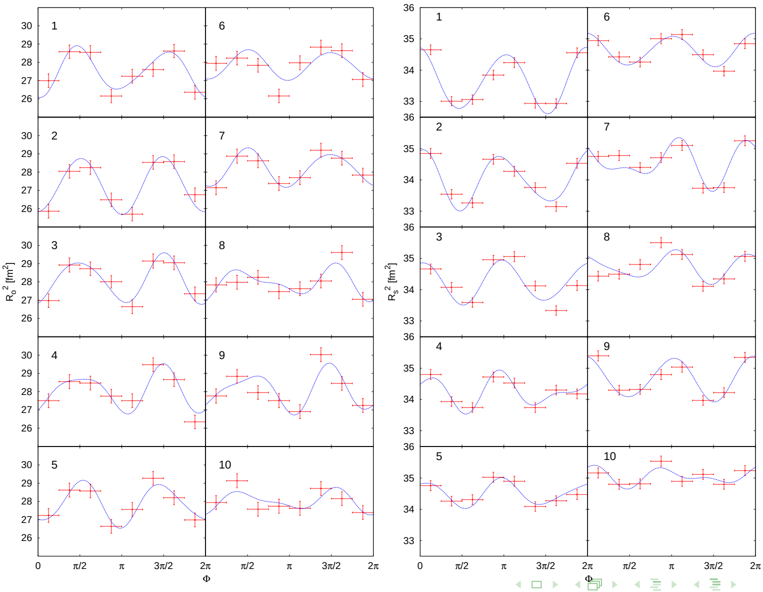
Zhrnutie a ďalší výskum

- V prvej časti práce sme ukázali, ako dokáže ustredňovanie ovplyvňovať tvar korelačnej funkcie
- Z toho vyplýva, že gaussovská korelačná funkcia ešte nemusí znamenať gaussovskú emisnú funkciu
- V druhej časti práce sme ukázali, že roztriedením udalostí a počítaním korelačných funkcií podobných udalostí môžeme na korelačnej funkcii naraz vidieť anizotropiu druhého aj tretieho rádu súčasne
- Ďalší výskum bude pokračovať zvýšením počtu študovaných udalostí, aby sme znížili nepresnosti

Rozdelenie častíc v jednotlivých triedach



Korelácie v podobných udalostiach



Vývoj fázy v triedach