

Měření anizotropního toku na experimentu ALICE

Daniel Mihatsch

ČSSVK 2020

České vysoké učení technické
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

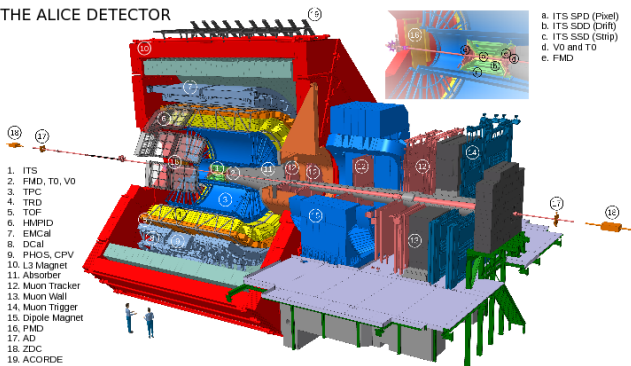
mihatdan@fjfi.cvut.cz

18. září 2020

Jádro-jaderné srážky a QGP

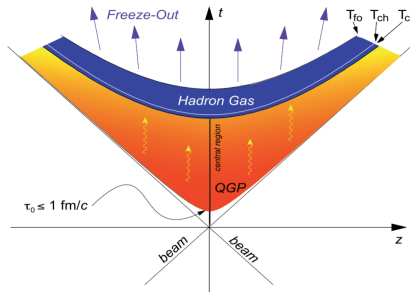
- ultrarelativistické jádro-jaderné srážky → produkce kvark-gluonového plasmatu (QGP) → studium pomocí měření anizotropního toku
- ALICE - 18 detektorových systémů (nejdůležitější: ITS, TPC, TOF)

THE ALICE DETECTOR



A. Tauro, ALICE Schematics (2017)

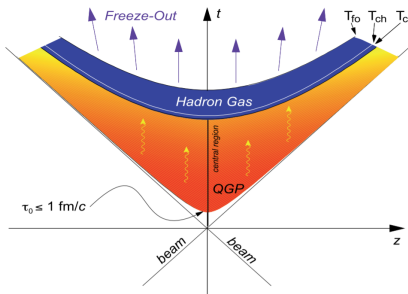
Vývoj srážky a fázový diagram jaderné hmoty



R. Stock, arXiv:0807.1610 (2008)

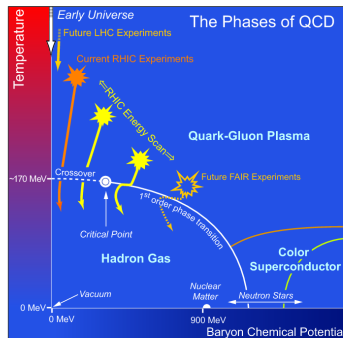
- fázový přechod $T_c = 151 \text{ MeV}$ [1]
- chemické vymrznutí $T_{ch} = 155 \text{ MeV}$, kinetické vymrznutí $T_{fo} = 95 \pm 10 \text{ MeV}$ [2]

Vývoj srážky a fázový diagram jaderné hmoty



R. Stock, arXiv:0807.1610 (2008)

- hadronizace $T_c = 151 \text{ MeV}$ [1]
- chemické vymrznutí $T_{ch} = 155 \text{ MeV}$, kinetické vymrznutí $T_{fo} = 95 \pm 10 \text{ MeV}$ [2]



L. Kumar, Mod. Phys. Lett. A 28:1330033 (2013)

Anizotropní tok

- anizotropie v počáteční geometrii srážky → kolektivní expanze média → anizotropie v distribuci částic
- azimutální distribuce částic (Fourierův rozvoj)

$$\frac{dN}{d\varphi} \propto 1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos [n(\varphi - \Psi_n)] \quad (1)$$

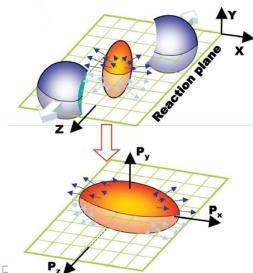
- koeficienty toku

$$v_n = \langle \cos [n(\varphi - \Psi_n)] \rangle \quad (2)$$

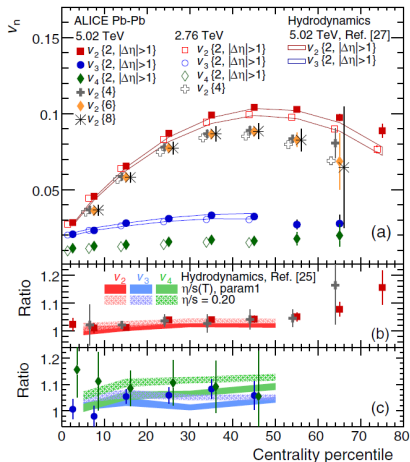
- v praxi se používají azimutální korelace, např. dvou-částicová

$$\langle v_n^2 \rangle = \langle \langle \cos [n(\varphi_1 - \varphi_2)] \rangle \rangle \quad (3)$$

C. Ristea et al., EPSHEP 2017



Závislost v_n na centralitě

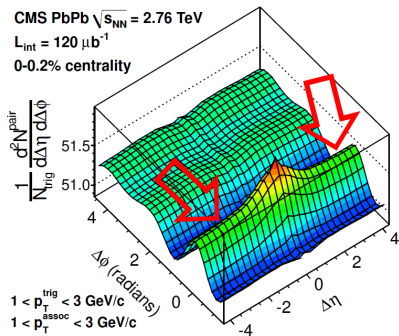


- závislost v_2 na centralitě
- viskozita QGP $\eta/s = 0,2$

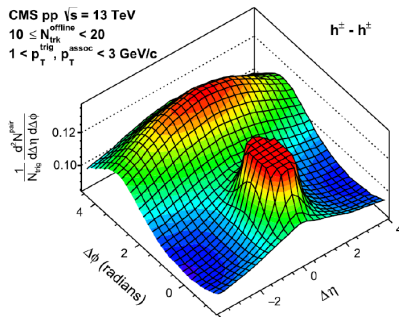
ALICE, Phys. Rev. Lett. 116(13):132302
(2016)



- neočekávalo se kolektivní chování, tzv. kontrolní měření



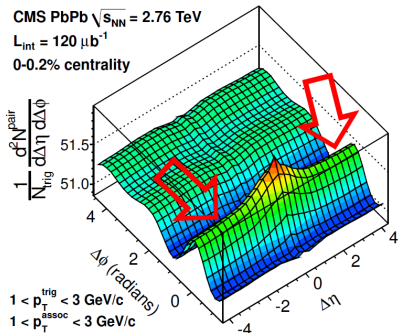
CMS, JHEP 02:088 (2014)



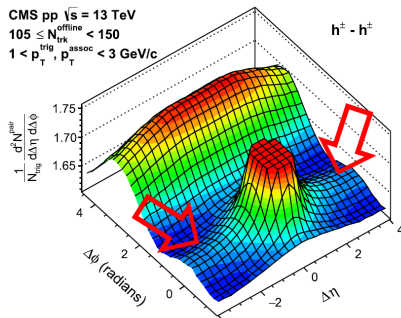
CMS, Phys. Lett. B 765:193–220 (2017)



- v roce 2010 experiment CMS - pozorován hřeben při $\Delta\phi \approx 0$ ve srážkách $p + p$ s vysokou multiplicitou $\rightarrow$ kolektivita?

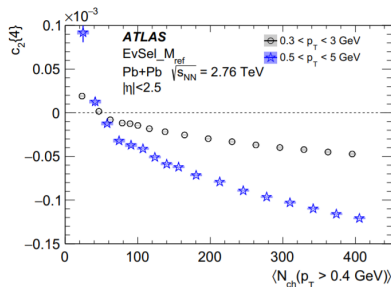


CMS, JHEP 02:088 (2014)



CMS, Phys. Lett. B 765:193–220 (2017)

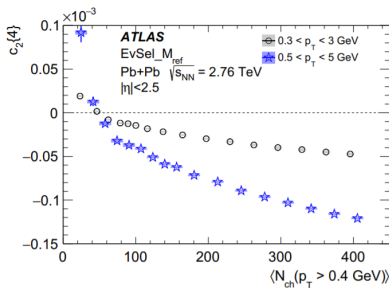
Měření kumulantu $c_2\{4\}$



ATLAS, Eur. Phys. J. C 77(6):428 (2017)

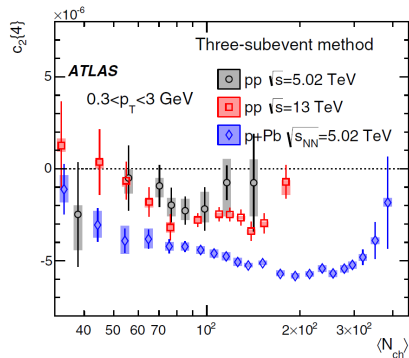
- zápornou hodnotu $c_2\{4\}$ pozorujeme v Pb+Pb
- je klíčová pro určení reálné hodnoty v_2

Měření kumulantu $c_2\{4\}$



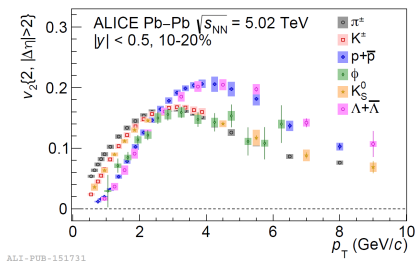
ATLAS, Eur. Phys. J. C 77(6):428 (2017)

- zápornou hodnotu $c_2\{4\}$ pozorujeme v Pb+Pb
- je klíčová pro určení reálné hodnoty v_2



ATLAS, Phys. Rev. C 97(2):024904 (2018)

Měření identifikovaného toku

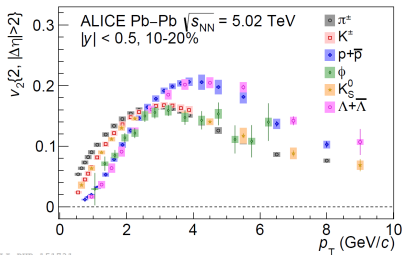


ALICE, JHEP 1809 (2018)

pozorované důsledky přítomnosti
QGP v jádro-jaderných srážkách

- řazení podle hmotnosti
- rozštěpení trendu - baryony a mesony

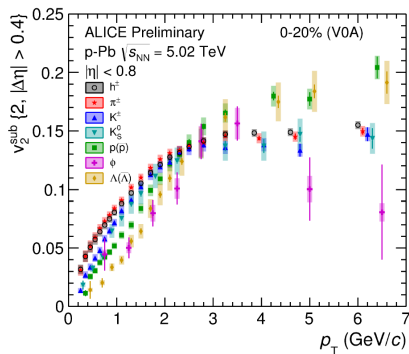
Měření identifikovaného toku



ALICE, JHEP 1809 (2018)

pozorované důsledky přítomnosti
QGP v jádro-jaderných srážkách

- řazení podle hmotnosti
- rozštěpení trendu - baryony a mesony



ALICE, nepublikováno

Srážky $p + p$ generované programem Pythia

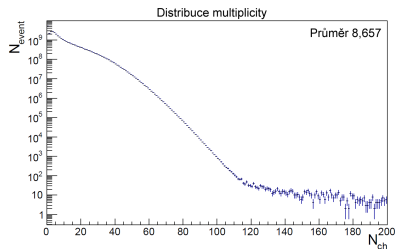
- motivace - seznámení se s metodami výpočtu anizotropního toku na datech z malých srážkových systémů
- simulace neobsahují anizotropní tok, pouze non-flow $\rightarrow$ ideální pro testování metod potlačení non-flow

Pythia

- generátor vysokoenergetických srážek využívající metodu MC
- výstupem je seznam vyprodukovaných částic a jejich vlastností

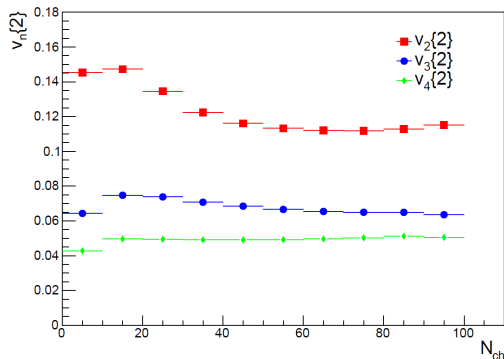
Metoda výpočtu

- azimutální korelace + rozdělení na podudálosti



$3 \cdot 10^{10}$ srážek $p+p$ při $\sqrt{s} = 13$ TeV
výchozí nastavení + neelastické
měkké QCD procesy
cut: $0,2 < p_T < 3$ GeV, $|\eta| < 0,8$

Výsledky měření $v_n\{2\}$



$$Q_n = \sum_{k=1}^M e^{in\varphi_k} \quad (4)$$

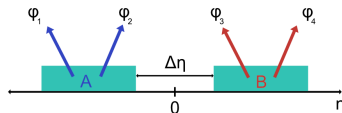
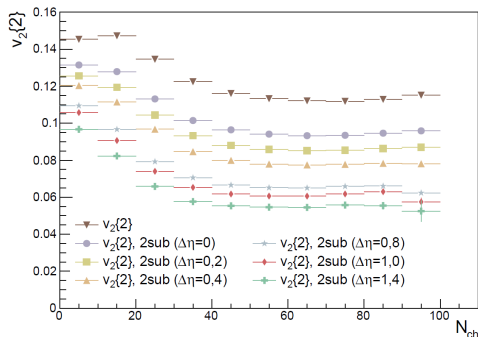
$$\langle 2 \rangle = \frac{|Q_n|^2 - M}{M(M-1)} \quad (5)$$

$$\langle\langle 2 \rangle\rangle = \frac{\sum_{udalosti} (W_{\langle 2 \rangle})_i \langle 2 \rangle_i}{\sum_{udalosti} (W_{\langle 2 \rangle})_i} \quad (6)$$

$$c_n\{2\} = \langle\langle 2 \rangle\rangle \quad (7)$$

$$v_n\{2\} = \sqrt{c_n\{2\}} \quad (8)$$

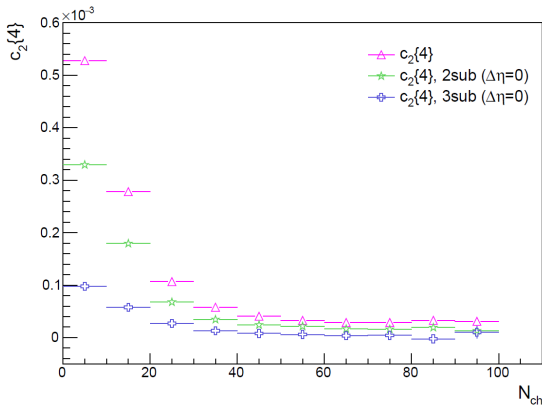
Metoda rozdělení na podudálosti



$$\begin{aligned} \langle\langle 2 \rangle\rangle_{AB}^{1,3} \cdot \langle\langle 2 \rangle\rangle_{AB}^{2,4} &= \\ &= \langle\langle e^{in(\varphi_1 - \varphi_3)} \rangle\rangle \langle\langle e^{in(\varphi_2 - \varphi_4)} \rangle\rangle \end{aligned} \quad (9)$$

- metoda efektivně potlačuje non-flow příspěvky

Měření kumulantu $c_2\{4\}$



$$c_n\{4\} = \langle\langle 4 \rangle\rangle - 2 \cdot \langle\langle 2 \rangle\rangle^2 \quad (10)$$

- jádro-jaderné srážky slouží ke zkoumání QGP
- kolektivní chování při expanzi se pozoruje v měření
 - dvou-částicových korelací - struktura se dvěma hřebeny
 - identifikovaný tok částic - řazení podle hmotnosti a rozštěpení trendu
- hodnota viskozity η/s QGP je dle měření velmi nízká
- v malých srážkových systémech byly pozorovány znaky kolektivity
- seznámil jsem se s metodou rozdělení na podudálosti důležitou pro studium malých systémů a v praxi jsem si analýzu vyzkoušel



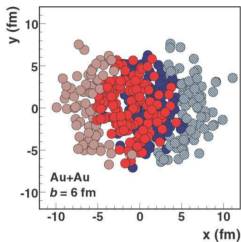
Y. Aoki, Z. Fodor, S. D. Katz a K. K. Szabó: *The QCD transition temperature: results with physical masses in the continuum limit* [Online]. [cit. 17. září 2020]. Phys. Lett. B 643 (2006) 46-54



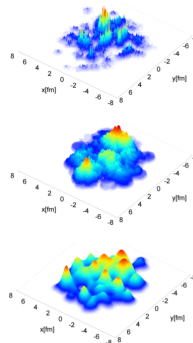
B. Abelev et al.: *Pion, Kaon, and Proton Production in Central Pb–Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV* [Online]. [cit. 17. září 2020]. Phys. Rev. Lett. 109:252301 (2012)

Backup

Anizotropní tok

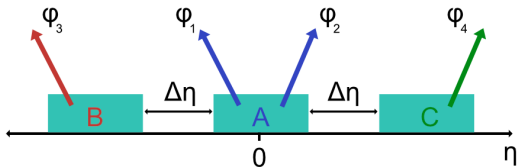


Michael L. Miller et al., Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.
57:205-243 (2007)



Bjoern Schenke et al., arXiv:1202.6646
(2012)

Metoda rozdělení na 3 podudálosti



$$\begin{aligned}\langle\langle 2 \rangle\rangle_{AB}^{1,3} \cdot \langle\langle 2 \rangle\rangle_{AC}^{2,4} &= \langle\langle e^{in(\varphi_1 - \varphi_3)} \rangle\rangle \cdot \langle\langle e^{in(\varphi_2 - \varphi_4)} \rangle\rangle \\ \langle\langle 2 \rangle\rangle_{AC}^{1,4} \cdot \langle\langle 2 \rangle\rangle_{AB}^{2,3} &= \langle\langle e^{in(\varphi_1 - \varphi_4)} \rangle\rangle \cdot \langle\langle e^{in(\varphi_2 - \varphi_3)} \rangle\rangle\end{aligned}\tag{11}$$

Další měření $v_n\{2\}$

