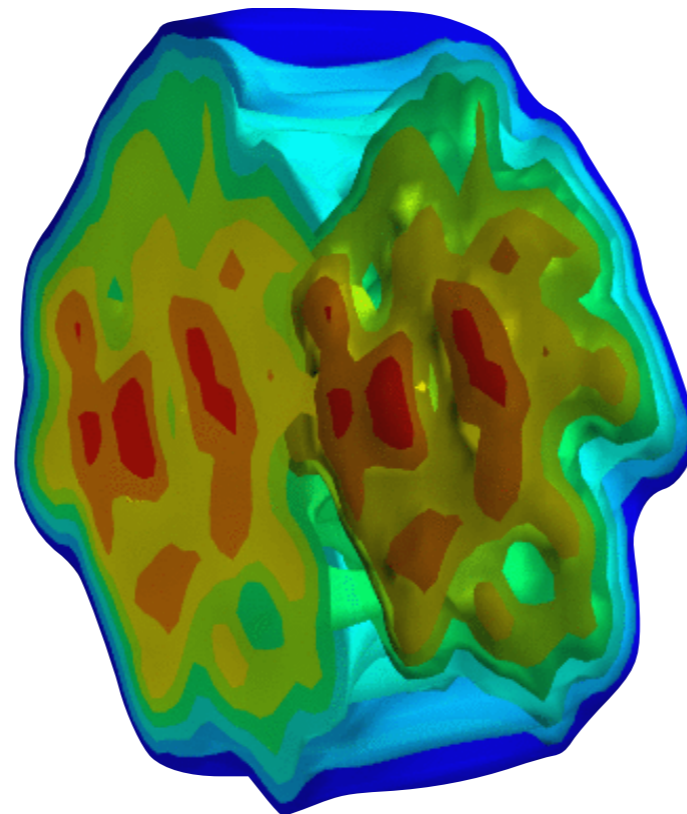


Produkce půvabných mesonů a charmonii v PbPb kolizích na LHC

G. Ponimatkin



Phys.Rev.Lett. 106 (2011) 042301, B. Schenke, S. Jeon, Ch. Gale

Variací modelových parametrů můžeme fitem získat z experimentálních dat údaje o podmínkách, které panují v QGP.

Některé otázky, které si můžeme položit o chování půvabných částic:

- Jsou půvabné částice termalizované ve vzniklém médiu?
- Jaké jsou energetické ztráty půvabných částic v médiu?
- Je přítomna azimutální anizotropie vzniklého média?

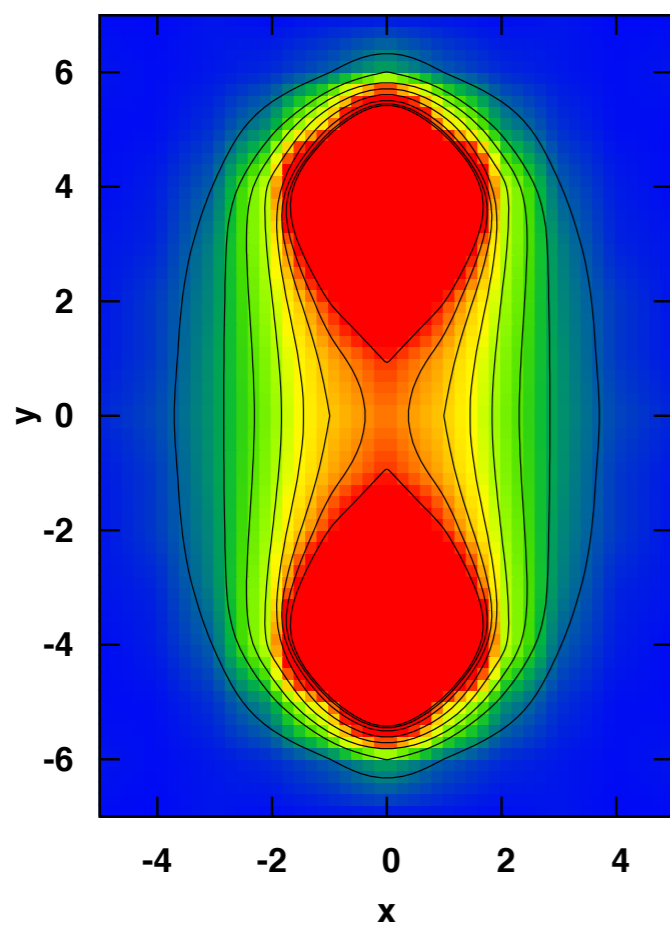
Kvantová chromodynamika a její fázový diagram

QCD - teorie která popisuje silnou interakci mezi kvarky a gluony.

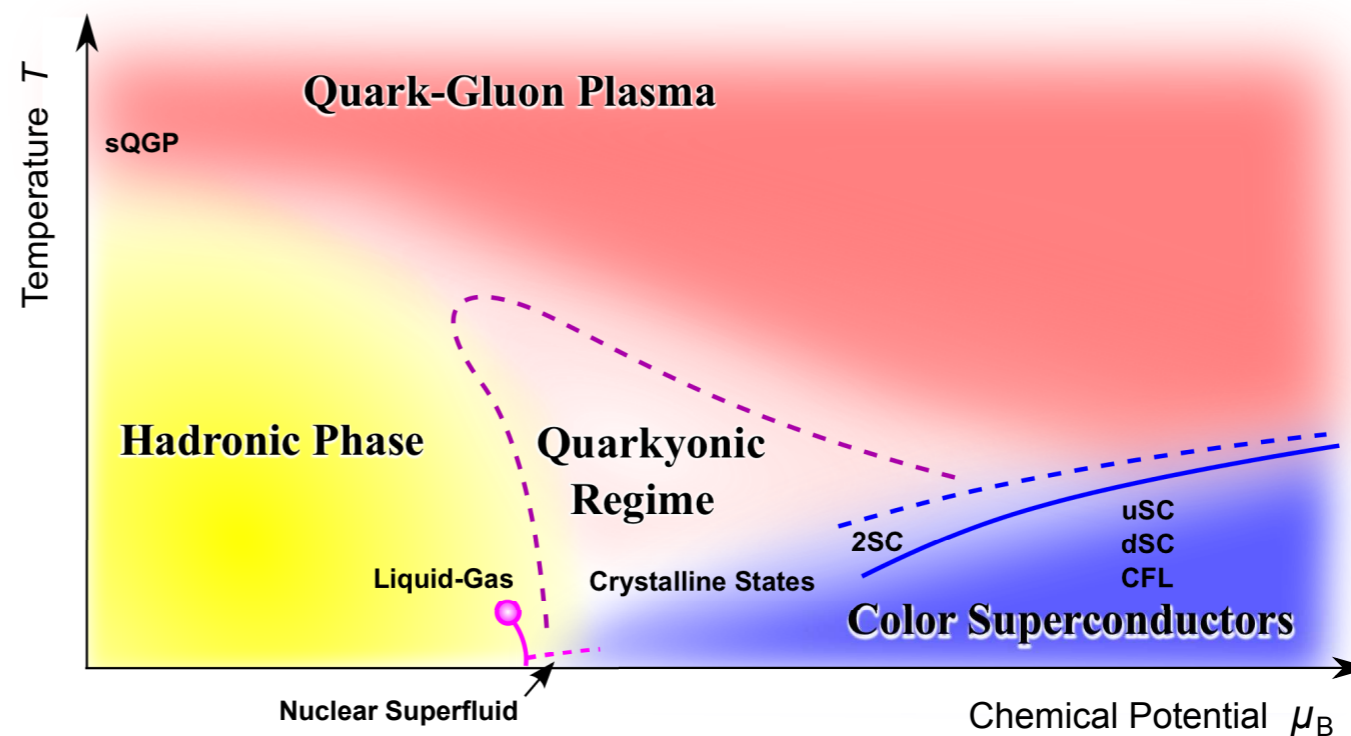
QGP - kvazivolný stav kvarků a gluonů.

Color confinement - mechanism, který neumožňuje existenci volných kvarků.

Asymptotická svoboda - důsledek color confinementů, kdy síla interakce se mění se vzdáleností.



Phys.Rev. D81 (2010) 034504. M. Cardoso, N. Cardoso, P. Bicudo.



Prog.Part.Nucl.Phys. 72 (2013) 99-154. K. Fukushima, Ch. Sasaki.

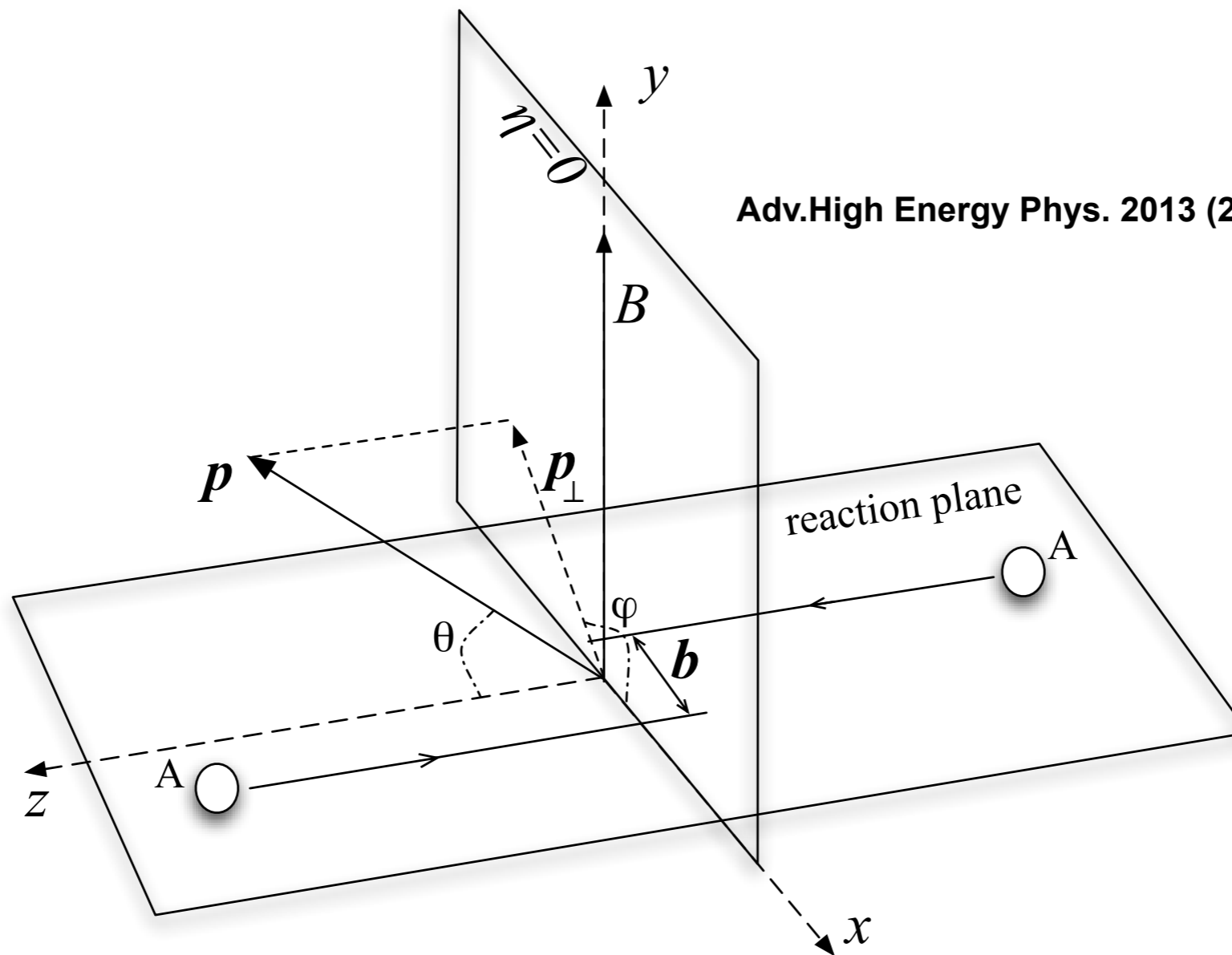
Kinematické proměnné a próby QGP

Příčná hybnost:

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$$

Rapidita (ve smyslu odchylení od svazku):

$$y = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{E + p_z}{E - p_z} \right)$$



Adv.High Energy Phys. 2013 (2013) 490495. K. Tuchin.

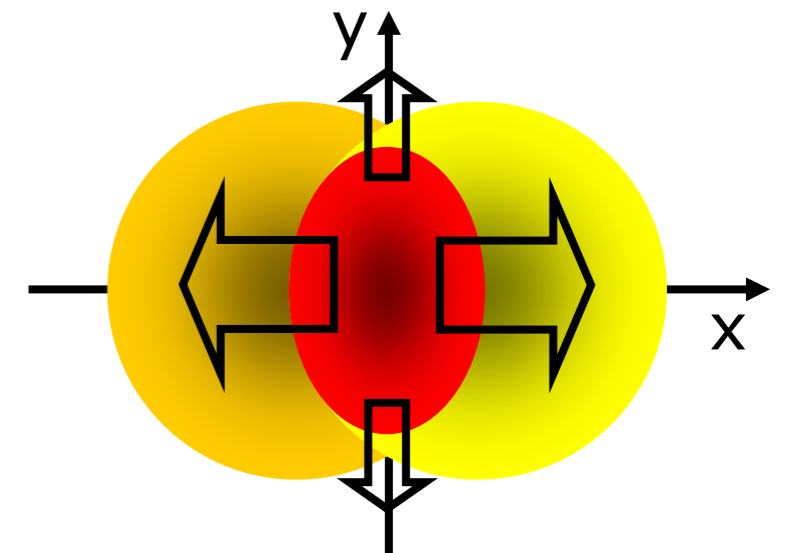
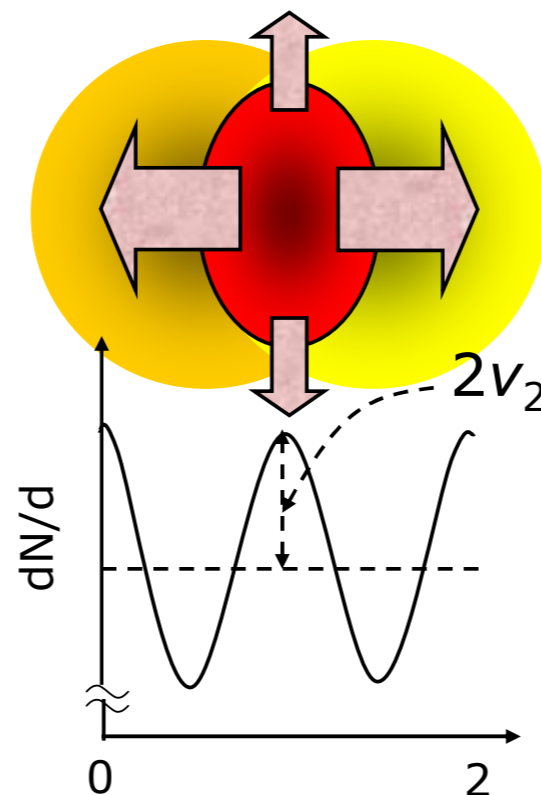
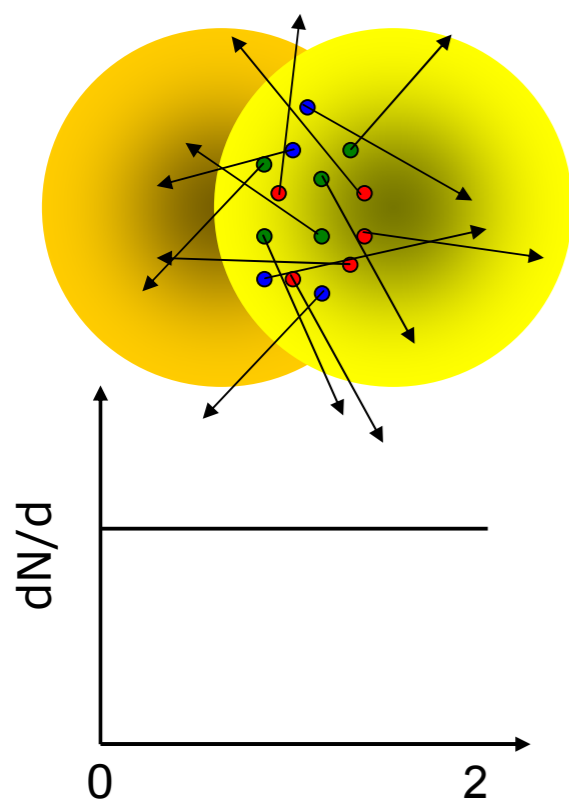
Eliptický tok

Důsledek hydrodynamické povahy média:

- Próba, která určuje míru azimutální anizotropie média.
- Vzniká jako důsledek rozdílu tlaků podél os.
- Naznačuje, že médium má kolektivní povahu.

$$v_2 = \langle \cos(2\varphi) \rangle$$

Lect.Notes Phys. 785 (2010) 139-178. T. Hirano, N. Kolk, A. Bilandzic.



Faktor jaderné modifikace

- Hybnostní spektra nám umožňují kvantifikovat energetické ztráty v médiu.
- Porovnáváme počet částic v AA kolizích vůči superpozici pp kolizí (medium/vacuum).
- Pokud faktor je > 1 tak hovoříme o modifikaci, pokud < 1 tak hovoříme o suppresii.

$$R_{AA} = \frac{d^2 N / dp_T dy}{\langle N_{coll} \rangle d^2 \sigma / dp_T dy}$$

Termodynamické fáze QGP

- **Freeze-out**: fáze, při které se mění interagování částic v médiu.
- **Chemický freeze-out**: fáze, po které je "chemické" složení média konstantní. V tento okamžik zanikají nepružné srážky v médiu.
- **Kinetický freeze-out**: fáze, po které zanikají pružné srážky v médiu. V tento okamžik je celková hybnostní distribuce systému konstantní.
- **Teploty freeze-outů**: teploty v GeV/MeV při které nastávají jednotlivé fáze.

$$T^{ch} \geq T^{th}$$

Model HYDJET++

Teoretický model pro popis AA srážek který kombinuje:

- Hydrodynamickou část srážky ("soft" fyzika/termální model).
- Jet-quenching (hašení jetů v jaderném médiu, "hard" fyzika).
- Model však nepočítá celou hydrodynamickou evoluci, výpočty probíhají jen pro kinetické a chemické freeze-outy dle zadané parametrizace modelů.
- Jedná se o rychlý a přesný model. Jeho hlavním nedostatkem je velký počet volných parametrů.

Produkce půvabných kvarků v HYDJET++

$$J/\psi, D^0, \overline{D}^0, D^+, D^-, D^{*+}, D^{*-}, D_s^+, D_s^-, \Lambda_c^+, \Lambda_c^-$$

Půvabné částice v hydrodynamické části jsou generovány dle statistického hadronizačního modelu, pro regulaci jeho produkce se zavádí "charm fugacity factor" γ_c . V případě že hodnotu faktoru zadáváme ručně, tak se počet částic řídí:

$$N_D = \gamma_c N_D^{th} \frac{I_1(\gamma_c N_D^{th})}{I_0(\gamma_c N_D^{th})}, \quad N_{J/\psi} = \gamma_c^2 N_{J/\psi}^{th}$$

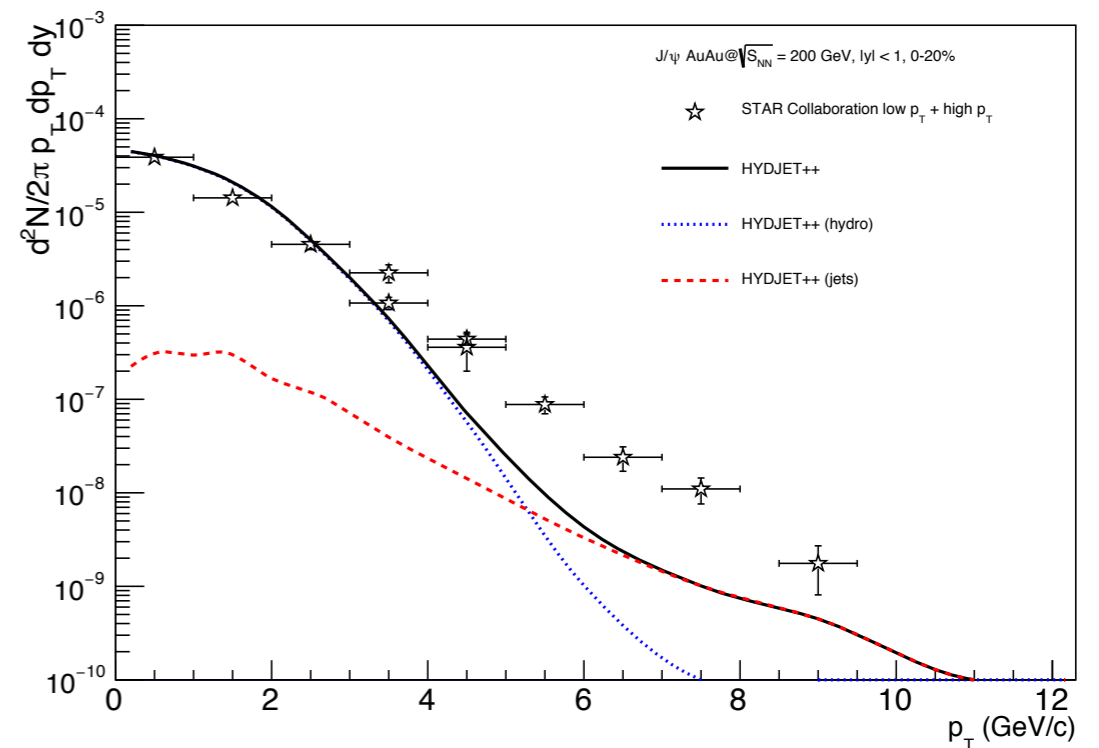
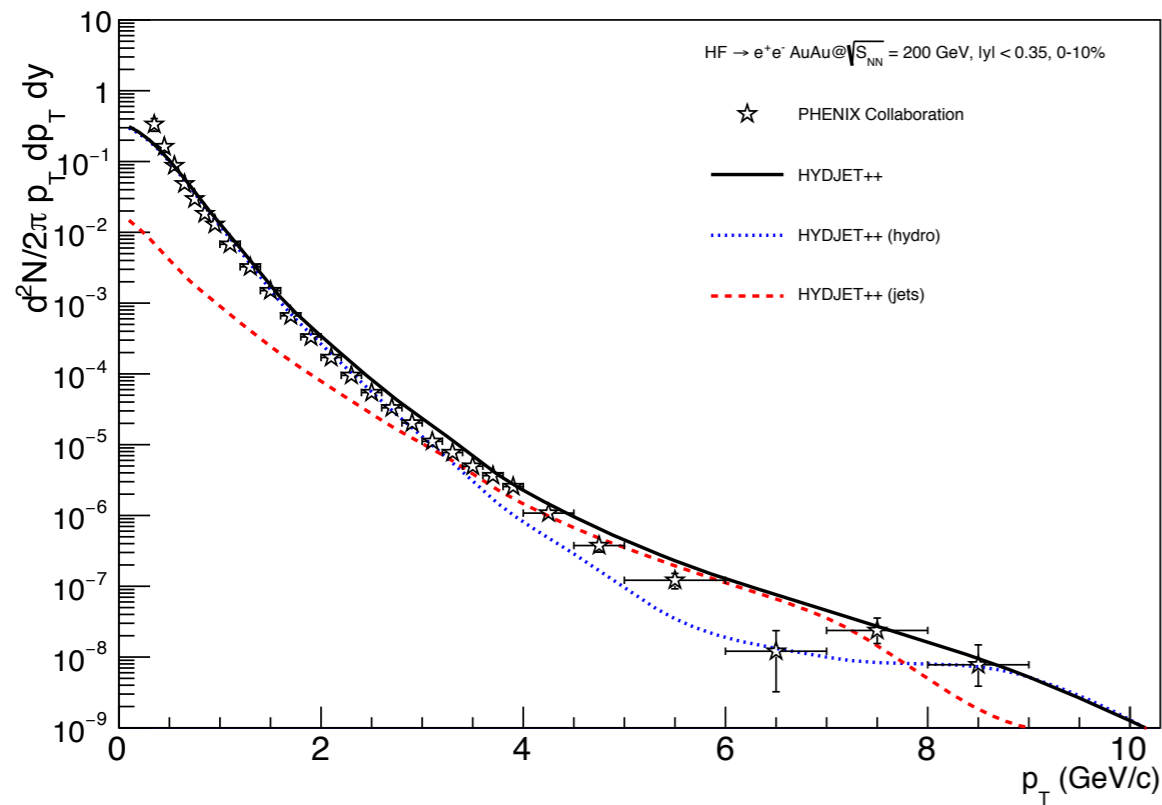
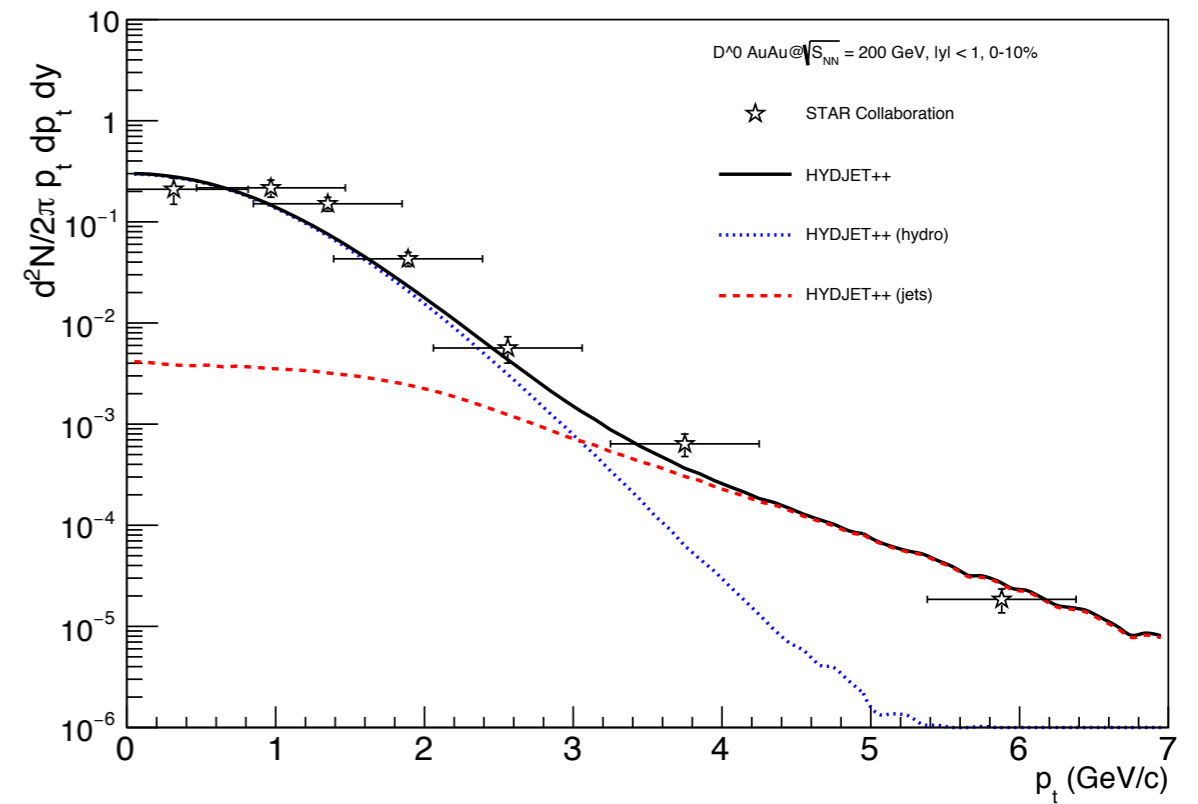
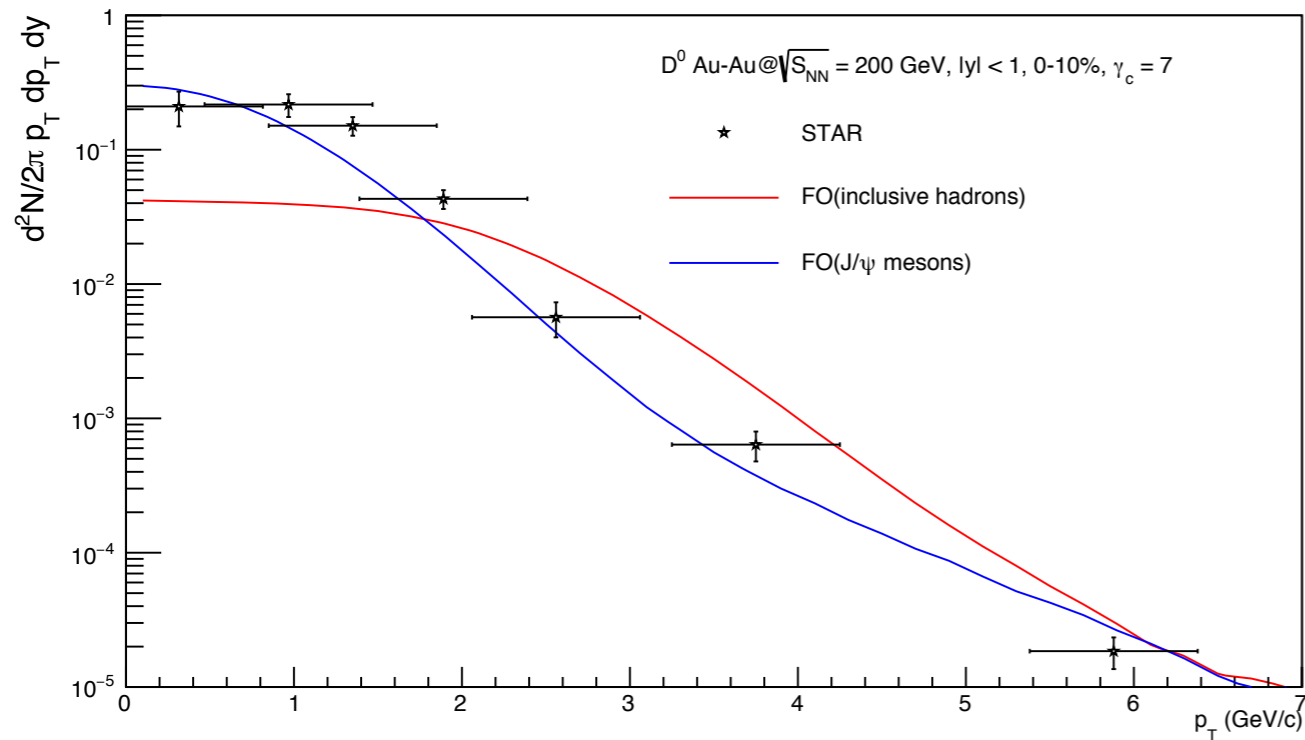
Faktor se může získat i výpočtem z rovnice:

$$N_{c\bar{c}} = 0.5 \gamma_c N_D^{th} \frac{I_1(\gamma_c N_D^{th})}{I_0(\gamma_c N_D^{th})} + \gamma_c^2 N_{J/\psi}^{th}$$

Kde $N_{c\bar{c}}$ je číslo $c\bar{c}$ -kvarkových párů škálováných na $\langle N_{coll} \rangle$.

- Tvrdá část využívá Bayer-Dokshitzer-Mueller-Schifův formalismus pro výpočet půvabů v tvrdé části. Na QCD teorii se tedy aplikují efekty JQ.
- 2 typy energetických ztrát - kolizní ztráty mezi jednotlivými částicemi a radiační ztráty vyzářením gluonů.

Produkce půvabů na urychlovači RHIC

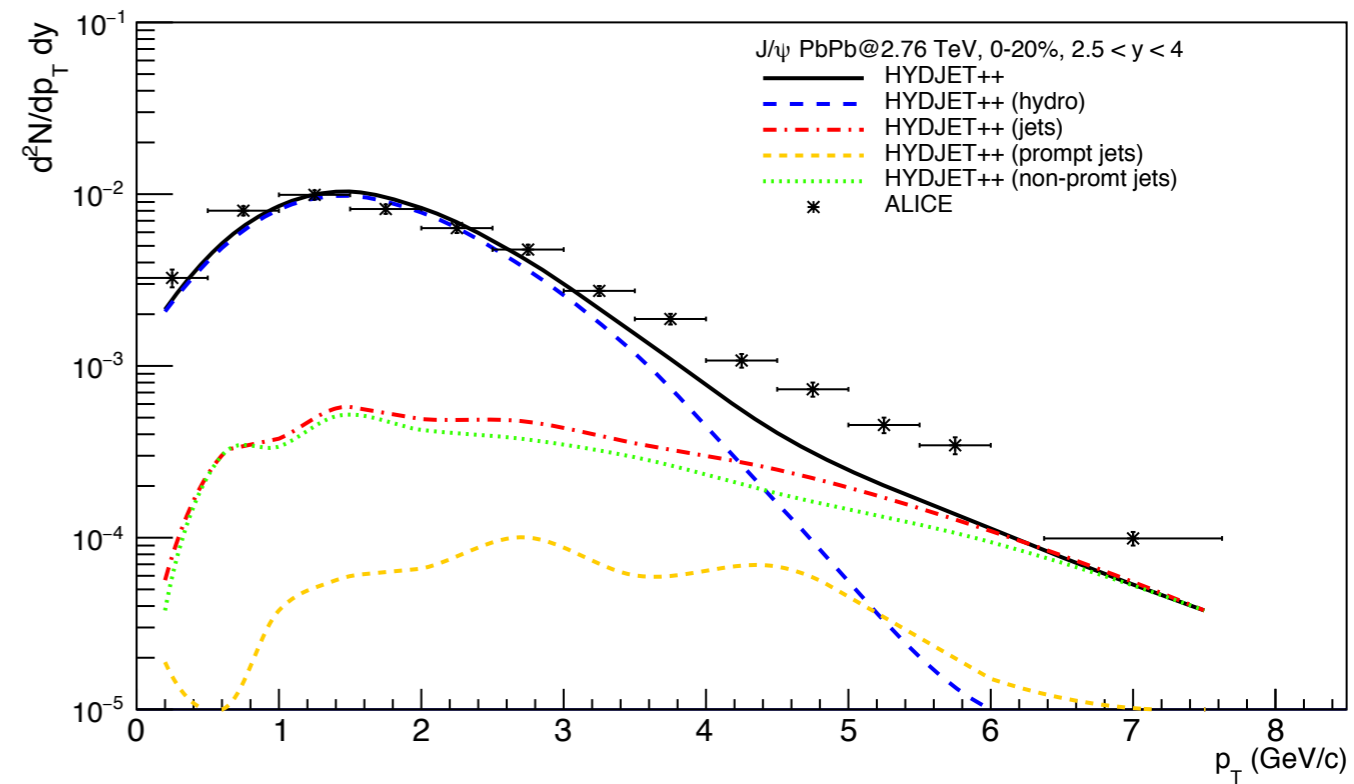
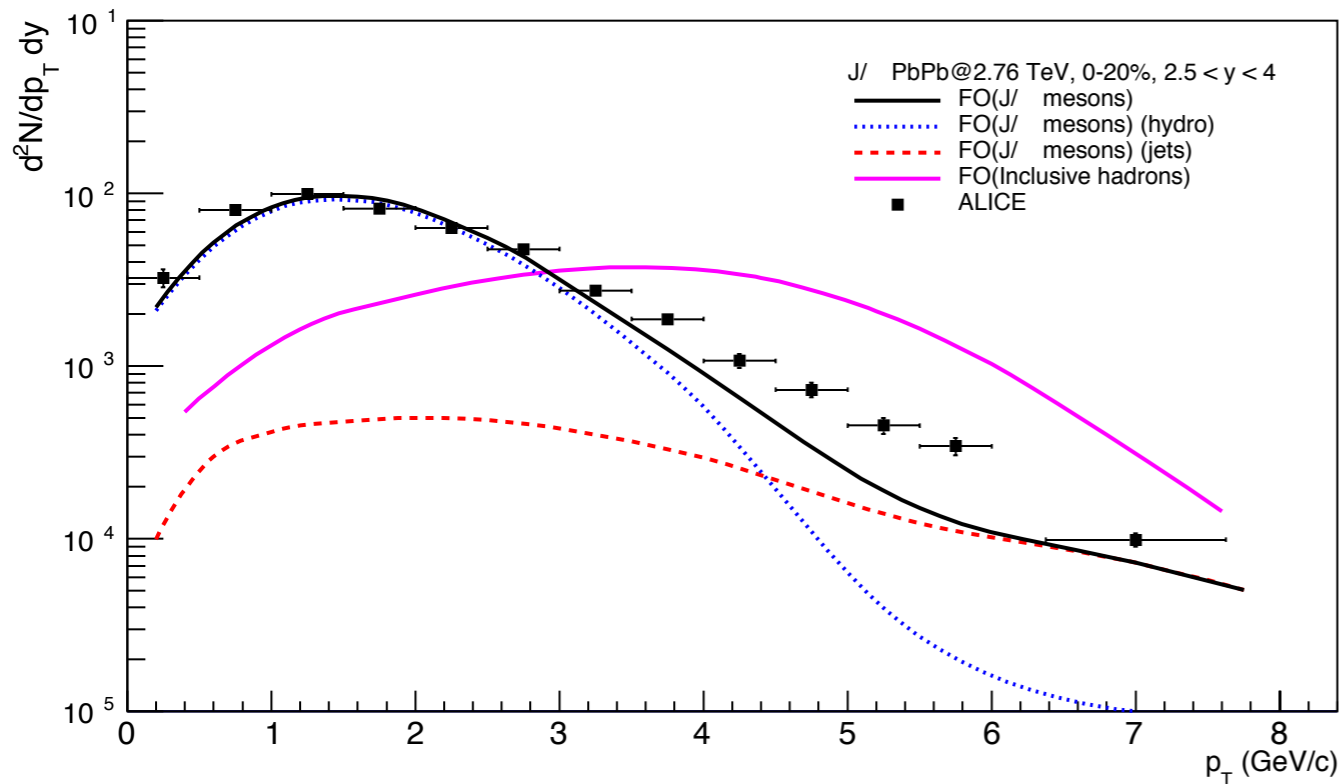


Pozorování na urychlovači RHIC

- Popis hybnostních spekter vyžadoval změnu freeze-out parametrů pro přesný popis produkce půvabných částic. Toto může znamenat, že částice obsahující půvabný kvark se nenacházejí v kinetické rovnováze s médiem.
- Experimentálně se také pozoruje slabý eliptický tok těchto částic na urychlovači RHIC. Toto se řadí mezi jedny z příznaků kinetické nerovnováhy částic.

$$T_{J/\psi}^{th} = T_{J/\psi}^{ch} = 0.165 \text{ GeV}, \eta_{max}^{J/\psi} = 1.1, \rho_{max}^{J/\psi} = 0.5$$

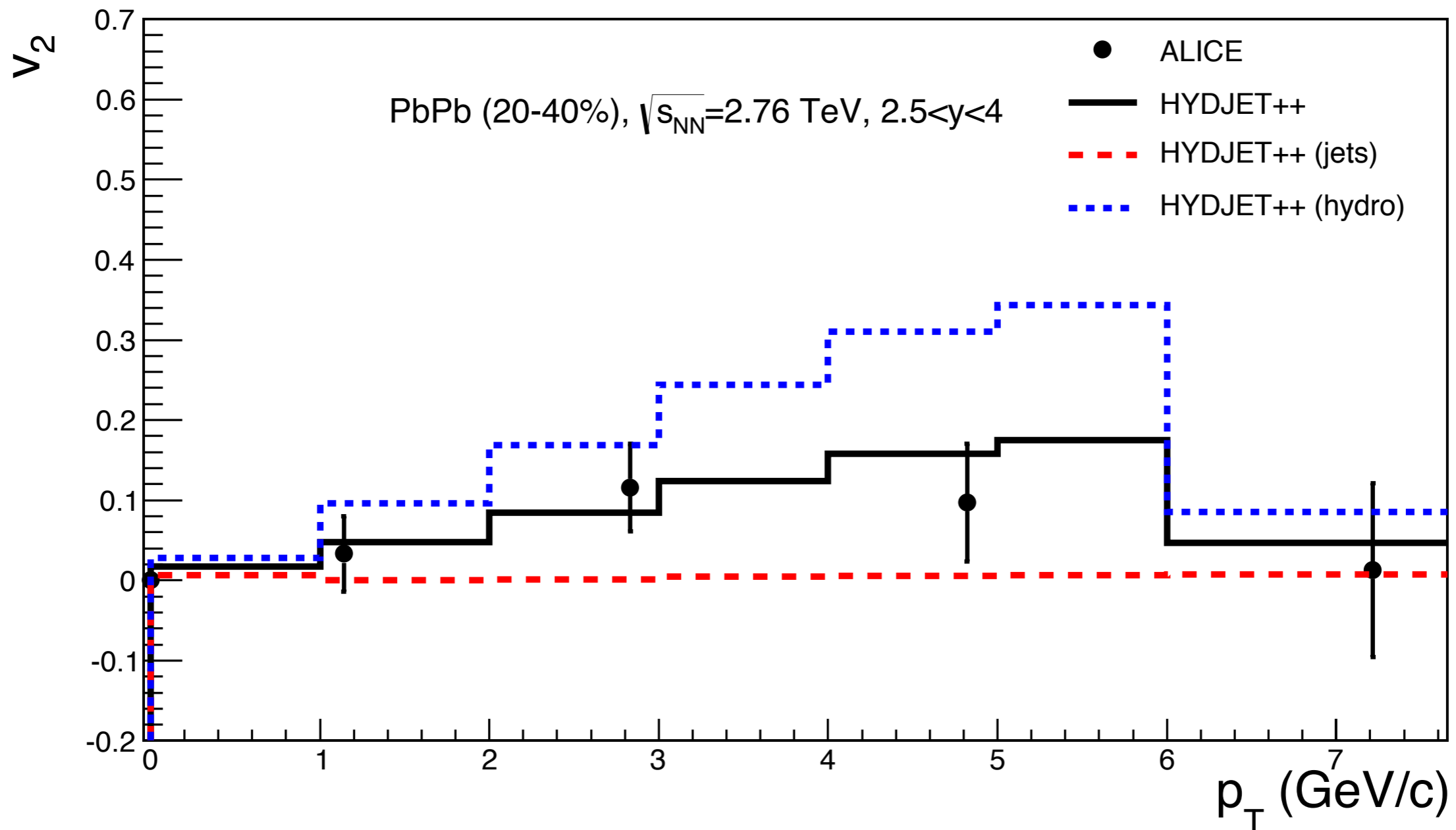
Půvabné částice na LHC - J/ψ meson



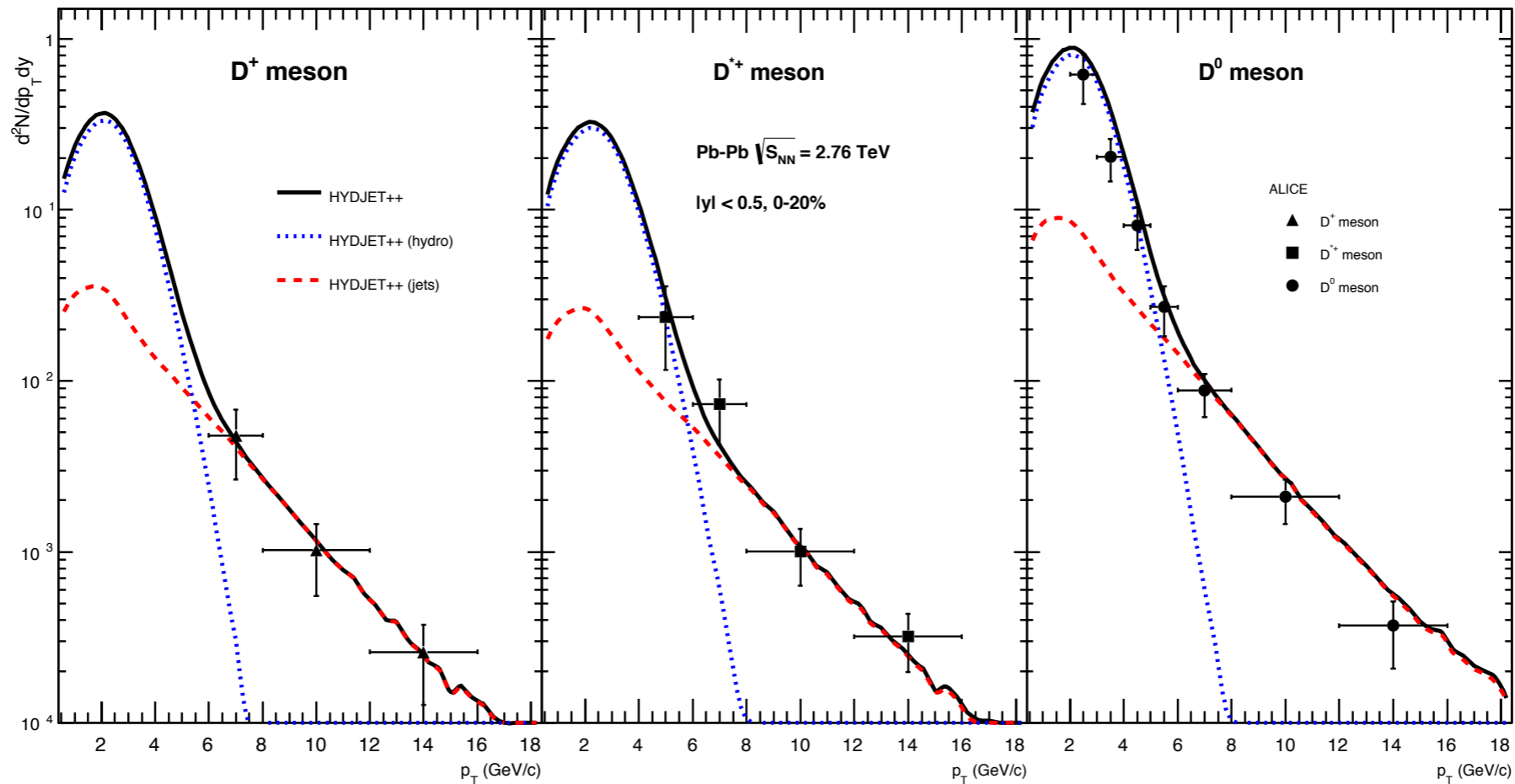
$$\text{FO}(J/\psi) : T_{J/\psi}^{th} = T_{J/\psi}^{ch} = 0.165 \text{ GeV}, \eta_{max}^{J/\psi} = 2.3, \rho_{max}^{J/\psi} = 0.6, \gamma_c = 11.5, p_T^{min} = 3.0 \text{ GeV}/c$$

Popis produkce J/ψ mesonů vyžadoval změnu freeze-out parametrů. Z důvodů absence některých teoretických mechanismů je popis při vyšších hybnostech nedokonalý. Z toho plyne, že se J/ψ nenachází v kinetické rovnováze s médiem.

Půvabné částice na LHC - J/ψ meson



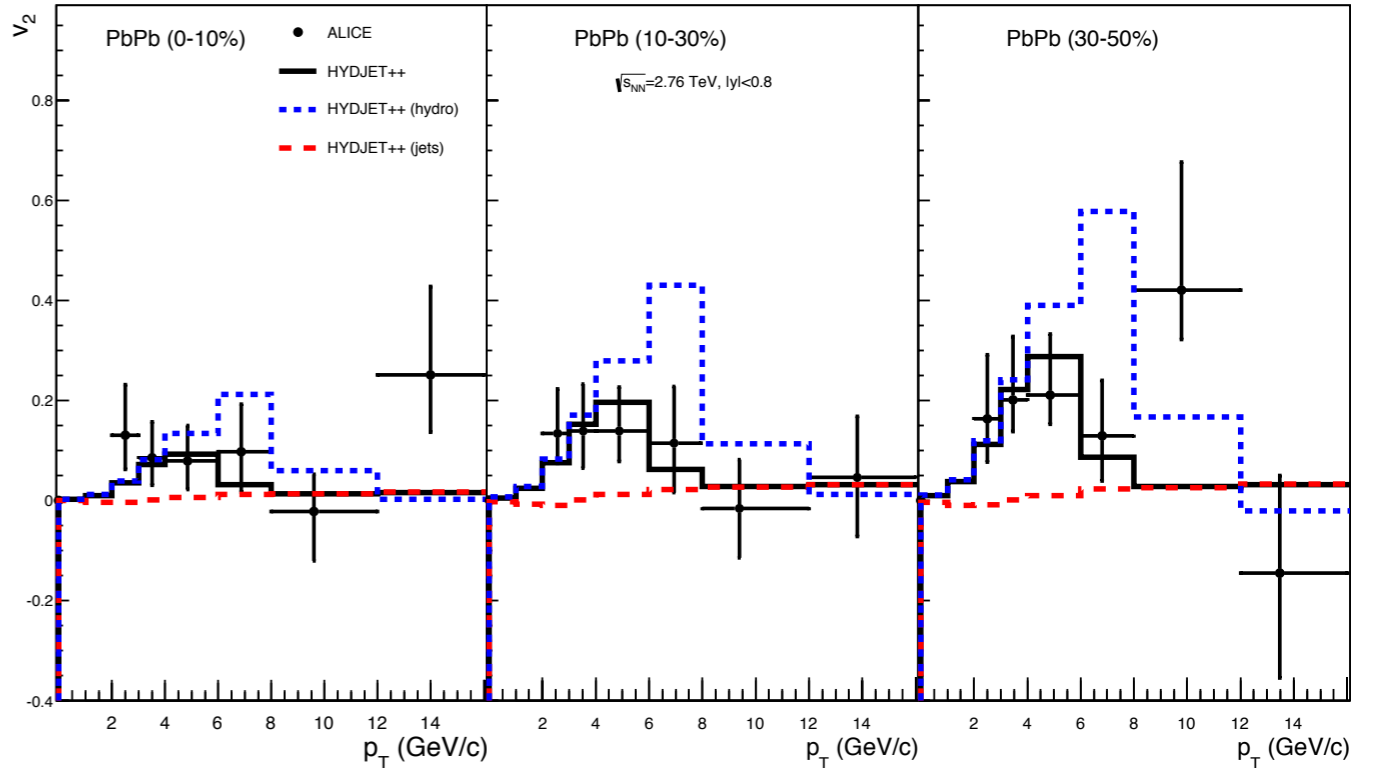
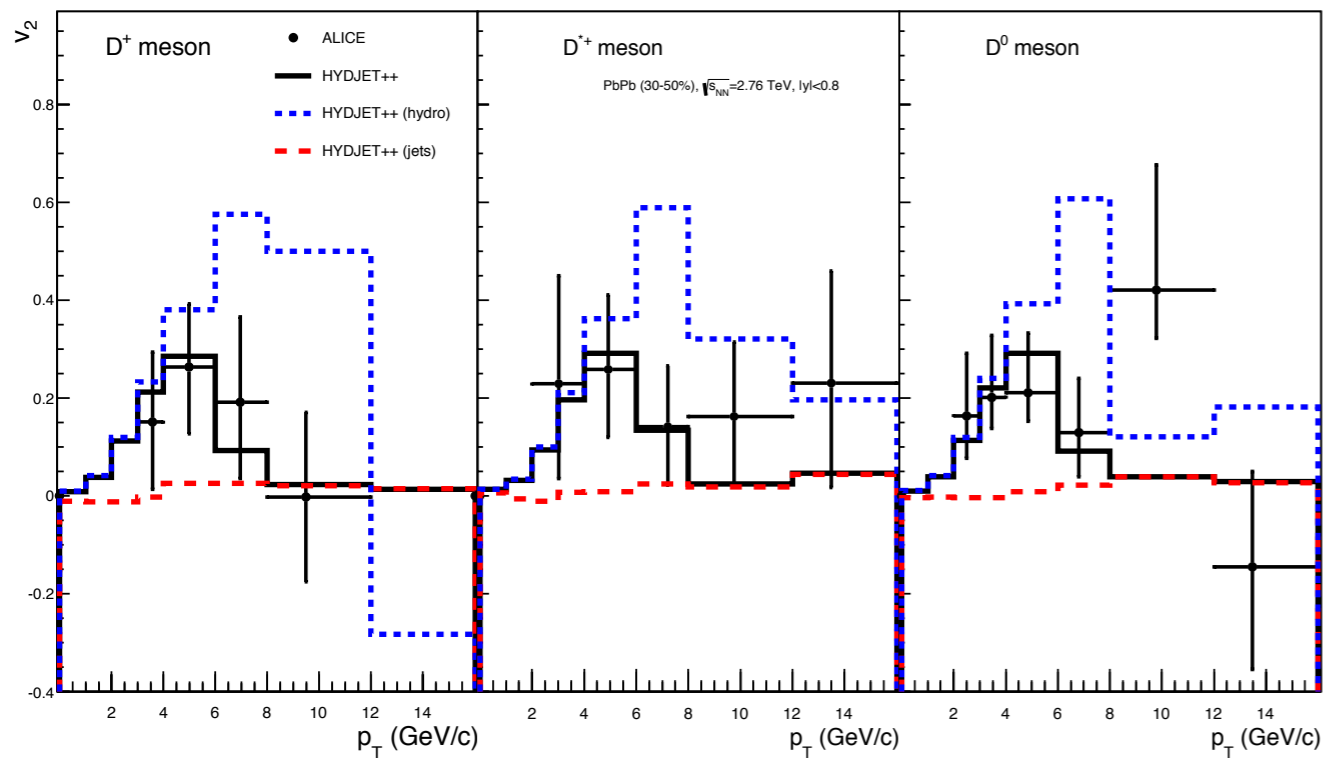
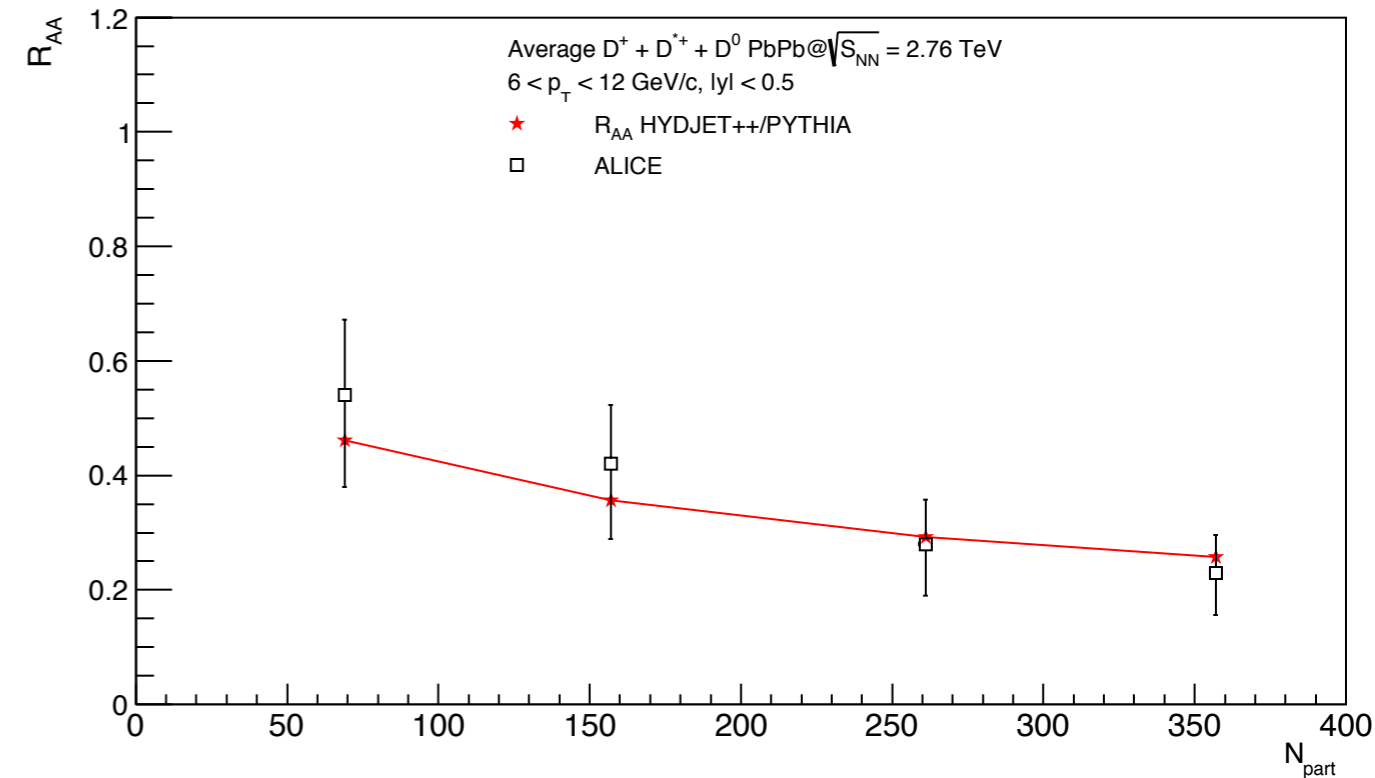
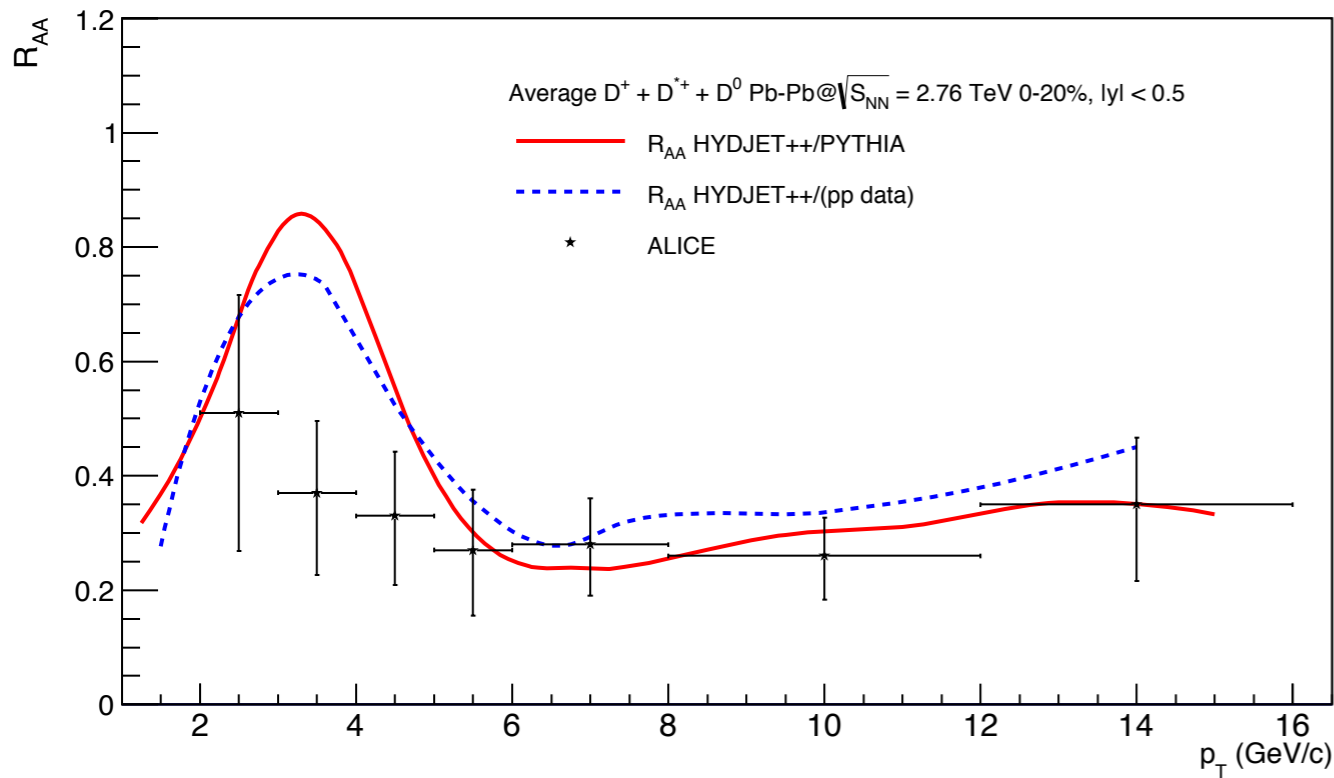
Půvabné částice na LHC - D mesony



FO(inclusive) : $T^{th} = 0.105$ GeV, $T^{ch} = 0.165$ GeV, $\eta_{max} = 4.5$, $\rho_{max} = 1.265$, $\gamma_c = 11.5$, $p_T^{min} = 8.2$ GeV/c

Popis produkce D -mesonů v modelu HYDJET++ nevyžadoval změnu freeze-out parametrů vůči inkluzivním částicím (tedy piony, protony, kaony). Je vidět, že jetová komponenta začíná hrát hlavní roli při vysokých hybnostech. D mesony se tedy nachází v kinetické rovnováze s médiem (je to ukázáno i silnější prezencí elliptického toku).

Půvabné částice na LHC - D mesony



Závěr

- V AuAu kolizích o energiích 200 GeV na nukleonový pár se dle modelu HYDJET++ půvabné částice nenacházejí v kinetické rovnováze vůči médiu, jelikož vyžadují změnu freeze-out parametrů.
- V PbPb kolizích o energiích 2.76 TeV na nukleonový pár se dle modelu HYDJET++ půvabné částice nacházejí v částečné kinetické rovnováze vůči médiu.

Značná část termalizace c-kvarku je dosažena v QGP, které vzniká v PbPb kolizích na LHC.

Reference

- Charmed meson and charmonium production in PbPb collisions at the LHC. I.P. Lokhtin, A.V. Belyaev, G. Kh. Eyyubova, G. Ponimatkin, E. Yu. Pronina. To be published in Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics.
- Spectra and elliptic flow of charmed hadrons in HYDJET++ model. G. Eyyubova, I.P. Lokhtin, A.V. Belyaev, G. Ponimatkin, E. Yu. Pronina. PoS EPS-HEP2015 (2015) 214, SISSA (2015-10-15).
- Thermal and non-thermal charmed meson production in heavy ions collisions at the LHC, I.P. Lokhtin, A.V. Belyaev, G. Kh. Eyyubova, G. Ponimatkin, E. Yu. Pronina. J.Phys.Conf.Ser. 668 (2016) no.1, 012068

Záložní slide - pp reference pro D mesony

