

## Posudek oponenta na bakalářskou práci Vojtěcha Macháčka *Statistická analýza konečných 2D a 3D obrazců generovaných v astrometrii a částicové fyzice*

Korelace mezi částicemi daného systému odráží míru jejich vzájemné interakce. Proto může být zajímavé porovnávat projevy korelací ve dvou systémech, které jsou založeny na jiném druhu fundamentální interakce. Předložená práce si klade za cíl studovat korelace mezi hvězdami v naší Galaxii na základě dat pořízených družicí Gaia a následně aplikovat obdobný postup také na hadrony produkované v experimentu ALICE ve srážkách proton-proton, proton-olovo a olovo-olovo. Při studiu korelací se práce opírá o statistický přístup, který publikoval dr. Petr Závada s Karlem Píškou v článku *Astronomy & Astrophysics 614 (2018) A137*.

Úvodní kapitoly bakalářské práce čtenáře seznamují s principem fungování družice Gaia, s experimentem ALICE a zavádějí pozorovatelnou  $\theta_n$ , pomocí které se korelace kvantifikují. Popis fungování družice Gaia byl víceméně srozumitelný. Práce přináší zevrubný popis současného stavu experimentu ALICE v období LHC Run 3. Zde bych pouze pro příště doporučil, aby autor věnoval více prostoru popisu experimentální aparatury v období, ze kterého pochází analyzovaná data, tedy z kampaně LHC Run 2. V údobí mezi Run 2 a Run 3 byla totiž ALICE zásadně inovována. Dále bych doporučil zaměřit se v popisu jen na ty detektory, které jsou pro jeho analýzu podstatné, tedy ITS, TPC a V0. K této části práce bych měl také několik připomínek fyzikálního charakteru:

- 1) Na straně 25 se píše o „*dopředném mionovém systému, pomocí kterého jsou zachytávány vzniklé miony*“. Zde je použito nevhodné sloveso zachytávat namísto slovesa měřit.
- 2) Na straně 26 se má namísto *rapidity* hovořit o pseudorapiditě.
- 3) Na straně 27 autor píše, že TOF je 2.7 m od interakčního bodu a že *Time-of-Flight detektor (TOF) je umístěn mezi dvěma vrstvami detektoru ITS2*. Zde autor špatně převedl radiální vzdálenosti 245 mm a 344 mm dvou vrstev ITS na metry.
- 4) Na straně 29 autor popisuje fungování elektromagnetického kalorimetru a píše: *Pokud dojde k pohlcení částice uvnitř scintilátoru, je následně vyzářen foton, ....*  
To je poměrně nešťastná formulace, kterou lze interpretovat tak, že se fotony vyzárají tehdy, když je částice pohlcena. Takto ovšem scintilátory nefungují.
- 5) Na straně 30 při popisu mionového ramene píše: *Před prvním z detektorů v soustavě se nachází absorber vyrobený z vrstev betonu a uhlíku sloužící k pohlcení všech přilétávajících částic s výjimkou mionů, zároveň také mionům zabraňuje v rozptylu a ztrátě energie*.  
Zde lze namítnout, že miony v tomto materiálu také podstupují mnohonásobný rozptyl a energetické ztráty, tedy bych rozhodně nepoužil sloveso „zabraňovat“.
- 6) Na straně 31 se píše: *Volné elektrony jsou odpuzovány od kladně nabitě desky*.
- 7) Na straně 32 se v souvislosti s detektorem MFT píše: *Díky tomuto detektoru je například možné určit hmotnost i trajektorii prolétávajících mionů s vyšší přesností*. Zde je třeba být přesnější a hovořit o invariantní hmotnosti párů mionů a nikoliv o hmotnosti mionů.

Diskuse astrofyzikálních výsledků je dobrá. Za cenné výsledky považuji, že autor určil rychlost otáčení Galaxie na našem poloměru a rychlosti oběhu Slunce vůči středu Galaxie a ve směru kolmém na rovinu Galaxie. Obdržené výsledky jsou srovnatelné s údaji, které nalezneme v literatuře. Není mi pouze jasné autorovo tvrzení, že *Ve směrech A a C není na rozdíl od zbývajících směrů tendence ke shlukování tak výrazná, to znamená, že rozdělení rychlostí pohybu hvězd v těchto směrech je rotačně symetrické*. Z čeho plyne tato implikace?

V dalším textu se autor věnoval analýze dat z experimentu ALICE. Oceňuji, že si student osvojil práci s komplikovaným analyzačním softwarem. Po faktické stránce bych měl pár dalších komentářů:

- 1) Na straně 49 se píše:

*Při vysokoenergetických srážkách částic dochází na velice krátkou dobu ke vzniku silně interagujícího systému více částic, který je možný popsat pomocí preturbační kvantové chromodynamiky.*

Zde bych namítl, že poruchové výpočty je možné v QCD aplikovat pouze na procesy s nějakou velkou energetickou škálou, typicky řádu několika GeV. Oproti tomu je vznik kvarkového-gluonového plazmatu ve srážce dvou jader spíše dominován procesy s malým přeneseným čtyřimpulsem.

2) U simulací musí být uvedeno, o který MC event generátor se jedná. Pouze čtenář, který má přístup k vstupním souborům v databázi ALICE může vypátrat, že simulace srážek jader olova byly provedeny generátorem HIJING. V této souvislosti by pak bylo přínosné čtenáři tento generátor trochu popsat a zmínit, že HIJING nesimuluje eliptický tok. Tedy není překvapivé, že trend v Obr. 5.4 nereprodukuje trend z reálných dat v Obr. 5.3. Bylo by také dobré zmínit, zda simulace uvažuje detektorové efekty, či zda se jedná o data čistě z MC generátoru.

3) Vzorec (3.9) nám říká, že počítaná veličina  $\theta_n$  je přímo úměrná kvadrátu velikosti odpovídajícího Fourierova koeficientu  $v_n$ . Obecně je známo, že na LHC je velikost  $v_1$  v midrapiditě o několik řádů menší než velikost  $v_2$ . Pokud navíc podíl  $v_2$  ku  $v_1$  umocníme na druhou, abychom získali odhad, v jakém poměru má být  $\theta_2$  vůči  $\theta_1$ , měli bychom vidět v amplitudě obou rozdělení na obrázcích 5.1 a 5.2 poměrně podstatný rozdíl. Přesto u vypočtených hodnot  $\theta_1$  a  $\theta_2$  v obr. 5.1 a 5.2 vidíme, že se jejich hodnoty při dané multiplicitě liší o faktor menší než 10. To by si zasloužilo nějaký komentář.

Jinak lze provedenou diskusi ohledně výsledků srážek proton-proton, proton-olovo a olovo-olovo považovat za relevantní. Přes uvedené výhrady jsem přesvědčen, že student odvedl solidní práci. Jazyková úroveň textu je dobrá. Překlepy se vyskytují ojediněle. U některých pojmu z angličtiny by se měl autor pokusit nalézt lepší české ekvivalenty, nebo je raději vůbec nepřekládat (např. str. 23 mapovat -> nalézt, pad/podložka -> vyčítací elektroda, GEM raději nepřekládat - plynový elektronový multiplikátor zní hrozně, str. 29 absorbér -> absorbátor). Pozitivně kvituji, že se student seznámil s obsáhlou literaturou, o čemž svědčí hojně citace původních zdrojů. Pro zvýšení jednoznačnosti přiřazení citace se zdrojem v seznamu literatury bych doporučoval odkazovat se v textu na zdroj číslem v hranaté závorce, jak je tomu v komunitě běžné.

Závěrem bych dodal, že vědecký text musí být formulován přesně, maximálně jednoznačně a věcně správně. Vzhledem k výše uvedeným věcným výhradám nemohu navrhnout lepší hodnocení než **známkou C (dobře)**. Níže mám pak k práci samé pár otázek.

Posudek vypracoval RNDr. Filip Křížek, Ph.D., z ÚJF AV ČR v Řeži dne 10.8.2023.

Křížek

Otázky:

- 1) Na straně 36 se uvádí, že *Pro ostatní zkoumané veličiny (např. rychlost, hybnost, ... ) se průmět do nového systému souřadnic neprovádí a platí ( $X_x X_y \equiv X_l X_b$ )*. Mohl by student tuto rovnost matematicky dokázat? (stačí pro rychlost). Proč nemá průmět do nové báze tři komponenty?
- 2) Na straně 42 jsou vstupem do jeho korelační analýzy rychlosti nebo polohy hvězd?
- 3) Na straně 42 se píše *Střední rychlost pohybu hvězd ve význačných směrech A a C je oproti středním rychlostem hvězd ve směrech C a D malá, proto nebude v dalším zpracování využita*. Proč bychom tato data měli opomíjet?
- 4) Ve vzorci (4.7) by mě zajímalo, zda je veličina  $\langle w_l \rangle$  vyhodnocována pro dané fixní  $r$  a  $R$ , a značí tedy nějakou průměrnou lokální rychlost, nebo je-li  $\langle w_l \rangle$  počítáno z celého průmětu B/D?
- 5) Co je přesně vyneseno za veličinu na ose  $y$  v obrázku 4.4? Pokud je to počet hvězd, proč je počet hvězd při pohledu do středu Galaxie menší než při pohledu opačným směrem? Slunce se přeci nachází zhruba v polovině galaktického disku.
- 6) Na straně 47 se píše, že *Nelze vyloučit ani systematickou chybu měření*. Jaké jsou dominantní zdroje systematických chyb?
- 7) V případě analýzy astrofyzikálních dat je popsáno, jak jsou vytvořeny podoblasti, které jsou následně analyzovány odděleně. Aplikuje se stejný postup i na data z experimentu ALICE? Navíc v práci na straně 50 autor píše: *Z další analýzy byly následně vyřazeny částice, pro jejichž příčnou hybnost platí  $|p_t| < 0,3 \text{ GeV}$  a jejichž pseudorapiditu  $\eta$  platí  $|\eta| < 0,7 \text{ GeV}$* . Opravdu byla z analýzy vyloučena téměř veškerá akceptace centrálního barelu?