

# Oponentský posudek na bakalářskou práci

Jméno studenta: Tomáš Poledníček

Název bakalářské práce: Aplikace relativistické dynamiky tekutin pro popis srážek těžkých iontů

FJFI ČVUT, Katedra fyziky, odbor: Experimentální jaderná a částicová fyzika

Předložená bakalářská práce se věnuje hydrodynamickému modelování evoluce hmoty vzniklé ve srážce těžkých iontů při ultra-relativistických energiích. Práce je rozdělena na úvod, pět kapitol, a závěr. V úvodu je stručně vysvětleno o čem následující práce pojednává a je vyloženo rozvržení obsahu do jednotlivých kapitol.

První kapitola je věnována popisu obecných poznatků o srážkách těžkých iontů při vysokých energiích. Výklad je v celku na velmi dobré úrovni, jenom bych zmínil několik nepřesností. Autor se omezuje energiemi většími než „10 GeV na nukleon“, aspoň při prvním použití by bylo třeba specifikovat v jakém systému je ta energie (c.m.s. nebo lab), a pak přesněji je „...na pár nukleonů“. Zmiňuje se také o GSI experimentu HADES (co je i v lab systému nižší energie) přičemž cituje Wojciecha Florkowského (teoretika z Krakova, který má málo co společného se spolupráci HADES – možná v jeho práci je citován GSI experiment), ale takto by se s referencemi pracovat nemělo. Našel jsem několik dalších příkladů takovýchto „citací přes citací“. Závěr prvního paragrafu sekce 1.1 není nejlépe formulován „Mezony a baryony se rozpadají a vytvářejí směs kvarků a gluonů.“, při srážkách těžkých iontů se děje opak.

Prostoro-časový vývoj, základní kinematické proměnné, a projevy různých toků jsou popsány ve druhé kapitole. Úroveň výkladu je opět velmi dobrá. Popis pod obr. 2.1 vznikl zřejmě omylem, zkopírováním popisu obr. 1.1. V definici příčné hybnosti (2.1) by bylo lepší použít indexy  $x$  a  $y$  místo 1 a 2 (aby zodpovídala obr. 2.2). Po zavedení polárních souřadnic, je několikrát azimutální úhel vyměněn za polární, vztahy (2.14), (2.20), ... Myslím, že ve vztahu (2.27) by měla být přímo rovnost (ne jenom úměrnost).

Třetí kapitola, která tvoří jádro celé bakalářské práce, je věnována výkladu relativistické hydrodynamiky. Tato část je na výborné úrovni a je velmi pěkně napsaná. Jsou vysvětleny jak ideální tekutina, tak i viskózní korekce. V obou případech je ukázán přechod k nerelativistické limitě, klasické hydrodynamice. Velmi pěkný je také příklad Bjorkenovské expanze, velice relevantní pro částicovou fyziku.

Stručnému popisu numerické metody na řešení rovnic relativistické hydrodynamiky a následné simulace produkce finálních částic (afterburner) je věnována čtvrtá kapitola. Je dobře napsána, ale mohla by být v mnoha směrech podrobnější, což by přispělo k lepšímu pochopení výsledků simulací prezentovaných v následující kapitole.

Poslední kapitola popisuje provedené simulace a porovnání s experimentálními daty pro Au-Au srážky, při c.m.s. energii 27 GeV na pár nukleonů, z experimentu STAR. Celkově je i tato kapitola velmi dobře napsána, až na několik nepřesností. Hned v úvodu je asi omylem napsáno, že pro piony je  $v_1$  záporné v záporné rapiditě, to je naopak (v modelu i v experimentálních datech), a pak je řečeno, že protony se chovají naopak – to je pravda v modelu, ne podle experimentu (při této energii!). Modelové rozdělení nabitých částic

v pseudorapiditě není porovnáno s experimentem, protože nejsou dostupné data pro použité centrality. Takové porovnání by bylo velice vítání, aby se ukázalo, že model dobře popisuje základní parametry srážek (bylo by třeba simulaci zopakovat pro situaci, kde existují data, anebo aspoň porovnání pro  $\eta = 0$ , kde myslím jsou data pro závislost na centralitě). Simulované rozdělení v příčné hybnosti jsou porovnané s experimentem a celkem dobře popisují data (pro realistický případ – zapnutý rescattering), až na protony (antiprotony). Ty však celkem dobře popisuje model s vypnutým rescatteringem! To by mohlo znamenat velice přeceněnou anihilaci v URQMD, anebo něco jiného nesprávného s protony. Porovnání  $v_1$  mezi modelem a experimentem jenom potvrzuje, že je něco špatně s protony. Uprostřed str. 47 jsou v textu nesprávně čísla obr. (má být 5.10-5.12 a 5.13-5.15). Popsaný test s mapováním chemického potenciálu v příčné rovině (obr. 5.17-5.20) v podstatě ukazuje, že modelem simulovaná data jsou vnitřně konzistentní, což je také dobrá informace, ale neříká nic o příčině. Test s vypnutím rezonancí podle autora ukazuje, že „rozdíl mezi piony a protony bude ukryt ve fireballu“, podle mne a hlavně podle obr. 5.5 a 5.11, když (nerealisticky) snížíme baryochemický potenciál, protonová data jsou popsána celkem dobře. To by znamenalo, že model má v centrální oblasti moc vysoký baryochemický potenciál, anebo je na něj moc citlivý. To, že se pro protony znaménko  $dv_1/dy$  změní jako v prezentovaném modelu, je pozorováno experimentálně při nižších energiích – tedy vyšším baryochemickým potenciálu v centrální oblasti, co by potvrzovalo předpoklad, že model nepopisuje dobře rozložení  $\mu_b$ .

V závěru je korektně shrnuta celá práce a dosažené výsledky. Celkově je prezentovaná bakalářská práce na velmi dobré úrovni, některé části na výborné. Její vědeckou úroveň nesnižují výše uvedené připomínky, proto navrhuji předloženou práci ocenit známkou B (velmi dobře).

V Praze, dne 24. srpna 2021.

Karel Šafařík