Opponensi vélemény Csanád Máté doktori dolgozatáról

Csanád Máté dolgozata szépen, jól megírt kézirat. Volt benne néhány pontatlanság, elírás, ezeket jeleztem a jelöltnek, itt nem foglalkozom velük a továbbiakban.

A dolgozat (mint ahogy Máté munkásságának túlnyomó része) két nagy téma köré csoportosul. Az egyik a nehézion ütközések leírása analitikusan megoldható hidrodinamikai modellekkel, a másik pedig a femtoszkópia, a nehézion ütközések téridő szerkezetének vizsgálata. Mindkét területen a jelölt nemzetközileg is elismert kutatónak számít. Az analitikus hidrodinamika előnye, hogy viszonylag gyorsan, olcsón a kísérleti adatok elfogadható leírását lehet megkapni, viszonylag könnyen lehet vizsgálni a paraméterektől való függést. A Levy-eloszlás használata a HBT adatok magyarázatára manapság elég érdekessé vált, s ezen (elmélet, kísérleti) kutatásokban Csanád Máté szerepe nemzetközi viszonylatban is fontos. Hiányolom a kísérleti munkásságát a dolgozatban, szerintem nem kell azt szégyellni, ha megtörtént, hát megtörtént.

Elfogadom, hogy a tézispontokat önnálló eredménynek. Talán lehetett volna a tézispontok számát szűkebbre venni, a pontokat bővíteni, de ez is elfogadható.

Legfontosabb eredményei:
Talált olyan analitikus megoldást, amely túlmutat az ellipszoid jellegű megoldásokon. Már az ellipszoidos Hubble-fejlődés esetén is ő talált olyan paraméterezést és kifagyási feltételeket, mellyel elfogadható leírását adta a kísérleti adatoknak. Ezt aztán általánosította multipoláris szimmetriákra is.
A femtoszkópia területén megmutatta, hogy a PHENIX adatokat nem lehet Gauss vagy Cauchy forrásfüggvény segítségével leírni, helyettük egy általánosításukat, a Levy-eloszlást kell inkább használni.

Az eredmények kielégítik a tudományok doktora cím követelményeit.

Van azonban néhány kérdésem, megjegyzésem.

11. oldal: A mért hadronok impulzus eloszlásának meredekségére ('hőmérsékletre") 170 MeV adódott (1.6-os ábra). A rácsszámolásak ennél szignifikánsabban alacsonyabb: 151-155 MeV értéket adnak a hadron--kvark-gluon-plazma átmenetre. Azaz 170 MeV-en az anyag túlnyomó részének még színes állapotban kellene lenni. Tekinthető-e a impulzuseloszlás meredeksége mégis hőmérsékletnek? Tekinthető-e ez a fázisátmenet hőmérsékletének?

11.-12. oldal: Az 1.7-es ábra szerintem hibás képet sugall, legalábbis az itt jelemzően tárgyalt magasabb RHIC energiákon. Még a legcentrálisabb ütközésben sincs "stopping", a magok eredeti nukleonjai sérülnek, de tovább repülnek. Míg az ábra azt sugallja, hogy az ütközésben résztvevő nukleonok megállnak és nagy barion sűrűségű anyag alakul ki. Míg a becslések szerint legfeljebb 2-4 szeres magsűrűség alakulhat ki a tűzgolyó közepén, ezért lehet a RHIC adatok értelemezését közel 0 kémiai potenciál mellett elvégezni.

13. oldal, 1.8-as ábra: A v_2/N_q kvark szám skálázás fennállása mennyire energiafüggő? Igaz-e ez LHC energiákon is (ha nem igaz, akkor miért lenne ez a kvark-gluon plazma jele)? Lehetne-e a

skálázás megjelenésével meghatározni a fázisátalakulás megjelenését a gyorsító energia függvényében?

1.9 ábra: A rácsszámolások inkább alacsonyabb: 150-155 MeV-re teszik a fázisátalakulás hőmérsékltét.

24. oldal: A 2.19 egyenlet utáni szövegrészből az derül ki, hogy a kifagyás nem konstans hőmérséklet mellett történik. Egy valószerű megoldásban mekkora hőmérséklet tartományban történik a kifagyás (a kifagyás pillanatában a középpont és a perem közötti hőmérséklet különbség)? A rögzített hőmérsékleten történő kifagyás nem kezelhető analitikusan?

26. oldal: Hubble-tágulás:
A tárgyalásban nem látszik, hogyan kezeli a peremet. A 2.32-34-es egyenletekben van elrejtve a tűzgolyónak felszine?
A 2.32-34-es egyenletekből b<0-ra az következik, hogy minden adott pillanatban a sűrűség exponenciálisan növekszik a sugárral. Ez nem tűnik reálisnak. A sűrűséggradiens divergál a felszínen?
A konstans sebességű tágulás konstans (r-től független) nyomás mellett megy végbe? Ez mennyire reális? A peremen a nyomásgradiens divergál? Hogyan kezeli ezt a megoldás?

2.4.3 fejezet: A hidro csak a résztvevő nukleonokra vonatkozik? Mennyire reális a 0-92%-os adatokat egy közös Hubble fejlődéssel leírni?
Mi az interpretációja a T_0 = 200 MeV kifagyási hőmérsékletnek? ($T_0 >> T_c$)

31. oldal, 2.1 táblázat: Mi okozza, hogy 0-92%-os eseményre kevesebb mint a fele anizotrópiát kapunk, mint a 0-30%-osra. Az intuíció pont ellentétes eredményre vezetne (teljesen centrális esetben eltűnik az anizotrópia).

2.5. fejezet: A foton keltésnél 1-3.5 GeV-es transzverzális impulzusú fotonokat számol a hidro modellben, ahol a maximális hőmérséklet alacsonyabb mint 500 MeV. A Boltzmann-elnyomás már 1 GeV transzverzális impulzusú fotonra is elég nagy 2-3 GeV esetében pedig nagyon nagy. Vajon ezen nagy energiájú fotonok nem-e a kezdeti nagy energiájú kvarkok ütközésében keltődnek, azaz nem termális eredetűek?
A 2.6-os ábra nem-e ezt bizonyítja, a hidrodinamikai modell teljesen rossz eredményt ad.

2.6.4 fejezet, 47. oldal Dilepton keltés:
Az adatokkal való összevetésnél több mindent nem értek:
Amikor fotont tudok kelteni, akkor dileptont is. Miért különbözik szignifikánsan (kettes faktorral) a kezdeti hőmérséklet a két rendszerben? Jól értem hogy egyszerűen ez jött ki a fittelésből? Van-e mögötte konzisztens kép?
Az SPS adatok értelmezésében az alacsony invariáns tömegekre a kvark annihilációt tekinti a fő járuléknak, míg az alaposabb vizsgálatok ezt a mezonok Dalitz-bomlásának tulajdonítják. Valószínűleg segítené a rho mezon feletti tartományok leírását a Drell-Yan folyamatok figyelembe vétele is, hiszen a rho felett az egyezés rossz.

2.7 fejezet: Általános hidrodinamika:
49. oldal: Alkalmazható-e az ideális gáz állapotegyenlete p=nT a tökéletes folyadékra (az egyikben végtelen a szabadúthossz, a másikban lényegében 0)?
50. oldal: Általánosan a kappa függhet a mu-töl is, sőt magától a p-től is, hiszen mi biztosítja, hogy az E-p kapcsolat lineáris?

3. A HBT analízis:
88. oldal: Itt szerepel, hogy LCMS-ben gömbszimmetrikus a forrás. Ugye ez csak az midrapiditás környékén igaz?

90. oldal: A korrelációs függvény dimenzionalítása, természete hogyan deríthető fel? (A szövegben csak az szerepel, hogy fel kell deríteni.)
Próbálgatással? Felteszünk egy forrás függvény formát, és megvizsgáljuk, hogy ez a modell hogyan illeszkedik a HBT adatokra?

105. oldal: Milyen feltétel, elvárás segítségével határozták meg a pionokra a vágásokat (3.70-3.73).

3.9 ábra (lambda m_T függése): A mag-glória interpretáció alapján lambda < 1 , az ábra nem ezt sugalja. Mi lehet ennek az oka? A Levy eloszlás nem megfelelő (hiszen Gauss esetben lambda<1), vagy pedig jelentősen korrigálni kell a mag-glória modellt?

3.3.1 120. oldal: Buda-Lund modell:
Azimut asszimetria: A tűzgolyó lehet a feltételezéseknek megfelelő alakú, de ezt az alakot nem igazolja az 1.7-es ábra, hiszen az félrevezető képen alapszik.
Jól értem-e, ha a 2. fejezet megoldásainál a 2.154 forrásfüggvény helyett a 121. oldalon található emissziós függvényt használnánk, a Buda-Lund modellhez jutunk? Miért használ a szerző 2 -féle forrásfüggvényt?
122. oldal: 3.96 képlet. Lehet-e a fugacitás alakját levezetni, vagy egyszerűen csak ezen alak mellett oldhatóak meg könnyen analitikusan az egyenletek?

130. oldal: A PHENIX adatok illesztéséből T_0=163 MeV adódik, amely a centrumban a kifagyáskori hőmérséklet. Az analitikus hidró tárgyalásakor T_0-ra 200 MeV feletti eredmény adódott a kifagyásra. Hogyan magyarázható ez a 2 lényegesen különböző érték (Mindkettő még mindig magasabb, mint a folytonos átmenethez tartozó hőmérséklet) ?

132. oldal: Van-e ésszerű magyarázat a kaonok R_long-ra a modell és adatok közötti eltérésre (3.24 ábra)?

134. oldal: Semmi sem követeli meg, hogy az U_A(1) és az SU(3)_LxSU(3)_R királis szimmetria ugyanazon hőmérsékleten áll helyre. A rácsszámolások az SU(3)_LxSU(3)_R királis szimmetria helyreállását vizsgálják, míg az eta' tömege az U_A(1) szimmetriától függ.

135. oldal: 3.158 képlet az eta' tömegének helyreállására ugyan egy plauzibilis feltételezés, de feltételezés. Az energiamegmaradásnak vagy/és impulzusmegmaradásnak sérülnie kell. A közeg által keltett térre van szükség, melyben az energiamegmaradás is sérülhet. (Mi történik pl. egy olyan eta' részecskével, melynek a kinetikus energiája nem elég a tömeg helyreállására?)

Budapest, 2021.03.30.

Wolf György
opponens