

Bírálati vélemény

Csanád Máté

Nagyenergiás atommagütközések téridőbeli szerkezete

MTA Doktori értekezéséről

Csanád Máté „*Nagyenergiás atommagütközések téridőbeli szerkezete*” címmel nyújtott be MTA doktori pályázatot és értekezést.

Formai szempontok: Az értekezés 156 oldalt tartalmaz, mely 3 fejezetre, valamint az Összefoglalásra oszlik. Az első fejezet ad egy rövid, de elegendő bevezetést a témakörbe, a másik két fejezetben fejti ki az eredményeit, ahol szükséges, megadva a háttérismereteket is. A disszertáció felépítése logikus, elvétele akadnak benne zavaró részek, ahol olyan ismereteket feltételez, melyek csak később jelennek meg a dolgozatban. Az értekezés számos, a megértést segítő ábrát tartalmaz, a lényegesebb eredmények, használt paraméterek táblázat formájában vannak összegezve. A szöveg nyelvi szempontból megfelelő.

Tartalmi szempontok: A dolgozat két nagy témakört jár körül, a nehézion reakciók hidrodinamikai motiváltságú megoldásait, valamint a keletkező részecskék forrásának meghatározását lehetővé tevő femtoszkópiai vizsgálatokat.

Mindkét témakör aktuális, a nehézion reakció kutatás főáramlatában található. A szerző az irodalom alapos ismerete mellett korszerű módszereket alkalmaz, eredményei relevánsak.

Az első nagy témakör esetében, melynek a „Hidrodinamika” elnevezést adta a cím kicsit megtévesztő, nem a hidrodinamikai fejlődésről szól, hanem egy egyszerűsített állapotegyenlet esetében az analitikusan felírható ismert ideális hidrodinamikai megoldásokat tekinti át, és ezeket próbálja a kísérletileg kimérhető hadron-, foton- és dilepton eloszlásoknak megfeleltetni. Ezzel ugyanis megkerüli a hidrodinamikai modellezés két legnagyobb problémáját: a kezdeti feltételek megválasztásának; illetve a lokális egyensúly kialakulásának a kérdéskörét. Az általános hiedelem szerint az ütközésekben 1 fm/c alatt kialakul egy lokális egyensúly, azonban az újabb nemegyensúlyi eredmények szerint (ld. QM2020 nemegyensúlyi szekciója) ez nem, ennyire egyszerű, 1 fm/c alatt valóban kialakul egy olyan anyag, amit effektíven le lehet írni viszkózus termodinamikával (az entrópiatermelés ilyenkor még nagyon fontos), de a benne szereplő paraméterek nem feleltethetők meg direkt módon a hidrodinamikai paramétereknek. További bonyodalmat okoz a nagy multiplicitású p+p ütközésekben észlelt folyás is, mely azt a kérdés feszegeti, hogy lehet-e hidrodinamikát csinálni hidrodinamika nélkül ...

Mivel a címben is, valamint a tézisei bevezetésében is azt említi, hogy „A jelen disszertációban összegzett munkám célja az volt, hogy a hidrodinamika és femtoszkópia módszerei segítségével részletesebben megismerhessem a nagyenergiás ütközésekben keletkező kvarkanyag dinamikáját és téridőstruktúráját”, ezt a cél szerintem a dolgozattal nem sikerült megvalósítania. Hadronanyag esetében a kifagyási pontban írt fel olyan paraméterezést, mely a kísérletekkel összhangban van a Cooper-Frye kifagyási modell mellett, fotonok és dileptonok esetében viszont erősen megkérdőjelezhető extrapolációval alapján számolta ki a fizikai mennyiségeket. Szerencsére a tézisekben már sokkal óvatosabban fogalmazott.

A fentiek ellenére elfogadható az a kiindulás is, hogy nem foglalkozunk azzal, hogyan kezdődik a hidrodinamikai fejlődés, hanem azt vizsgáljuk, hogy konzisztensek-e ezek a paraméterezések a kísérleti tapasztalattal, és segítenek-e minket a reakciók lefolyásának megértésében. Ennek fényében a résznek inkább a „Hidrodinamikai ansatzok” címet lehetett volna adni. Ez persze azt is jelenti, hogy amennyiben

időben „fejlesztjük” ezeket a megoldásokat, nagyon óvatosan kell eljárunk. A fejezete végén még ott van ez a figyelmeztetés, de a dolgozat előrehaladtával már tényként kezeli, hogy az 1 fm/c-re visszaextrapolált fizikai hőmérsékletet ebből a parametrizációból meg lehet kapni.

A másik nagy témakör a femtoszkópia, melynek keretében az azonos bozonikus részecskékre a kvantumstatisztika miatti fellépő kétrészecske cserére való szimmetria következményeként a forrás méretére lehet következtetni a kis impulzuskülönbségű párok mérésével. Ebben a fejeztben két következtetlenséget találtam: az egyik, hogy a 3.3 részben mutat pp korrelációra is példát, elhagyva, hogy hogyan kéne a korrelációs függvénynek módosulni fermionok esetére (és miért működik erre is a bozonokhoz teljesen megegyező módon az m_T skálázás).. A másik következtetlenség, hogy a 3.2 fejezet fő megállapítása után, miszerint a Gauss függvénnyel jellemezhető forrás nem egyeztethető össze a kísérletekkel, és helyette Lévy eloszlás használatát javasolja viszonylag alacsony, 1.2-es index-el, a 3.3 fejezetben a Buda-Lund modell ismertetésénél a Gauss közelítést használja.

Tézisek értékelése:

1. **elfogadom;**
2. **részlegesen fogadom el**, a „információt nyertem az átlagos állapotegyenletre és a kezdeti hőmérsékletre vonatkozóan is, amely összhangban volt másfajta számításokból kapott értékekkel is.” Részét nem fogadom el, mivel az idézett hivatkozásokban is sokkal szélesebb kezdeti hőmérséklet határok vannak, ezért a disszertációban kiragadott 370 MeV-es értékre alapozott becslés nem fogadható el. A tézis többi pontját elfogadom;
3. A tézis egy új eredmény jellegű állítást tartalmaz: „Több lehetséges egzakt, analitikus megoldást találtam” ezt **elfogadom;**
4. **elfogadom;**
5. megoldás perturbatív vizsgálata nem alkalmas általános következtetések levonására, csak arra, hogy az adott megoldás mennyire stabil. Perturbatív volta miatt nem tudja jól megfogni a gyorsulás hatásait sem (pl. fejlődési idő megnövekedése stb.). A tézispontot azzal a **megszorítással fogadom el**, hogy az elemzés megmutatva az időben visszakövetés instabil voltát, az adott megoldás kis gyorsulásokra való viszonylagos érzéketlenségét mutatta meg;
6. **elfogadom;**
7. **feltételelesen fogadom el**, 8. kérdésre adott válasz függvényében;
8. **elfogadom;**
9. **elfogadom;**
10. **elfogadom;**

Kérdések

1. 1.6 ábrából centrális ütközésre az $u \approx 0.4-0.5c$ ([221] a hosszirányú sebesség $0.9 c$ -t becsül, a transzverzálisra $0.3-0.6 c$ -t, jelen értekezés 3.3.5 fejezetében $0.6 c$ a transzverzális sebesség). Ez a tágulás meghaladja a közegbeli hangsebesség $0.3-0.4c$ (jelen dolgozatban $0.36c \pm 0.02c$) értékét! Ilyen feltételek mellett lehet-e termodinamikáról, és termodinamikai fázisátalakulásról beszélni (pl. a korrelációs hosszról), illetve összehasonlítható értelmesen az így kapott eredmény a „termostatikán” alapuló rácsszámolásokkal?
2. 2.4.4-ben elemzi a foton spektrumot, mely az időfejlődés következtében különböző hőmérsékletű téridőrészekből eredeztethető. Miért tudnak a végén kísérletileg mégiscsak egy hőmérséklet értéket hozzárendelni, és mi ennek a hőmérsékletnek a jelentése?

3. (2.61) alapján úgy tűnik, hogy a forrásméret fordítottan arányos a foton energiájával. Ennek van valamilyen magyarázata?
4. A 2.4 ábrán mutatja be a fotonspektrumot különböző kezdeti időket feltételezve, és megjegyzi, hogy „a spektrum kevésbé érzékeny a kezdeti idő pontos értékére”. Az ábra fényében nem értem ezt a megjegyzést, mind a spektrum nagysága, mind az alakja erősen függ az ábrán a kezdeti időtől!
5. A 2.15 ábra alapján nem érthető a 2.8.3 fejezet elemzése, hogy b paraméter $[0,05,0,2]$ intervallumbeli értékére "nagyjából változatlan görbéket kapunk". A v_2 -ben egy kettes faktort $b=0,06$ -ról $b=0,1$ -re változtatásával nem nevezném változatlanoknak, szemben a kifagyási hőmérséklettől való függéssel.
6. A 100-101. oldalak eszmefuttatásával a Lévy α index és a fázisátalakulás kritikus exponense kapcsán kételyemet fejezem ki a következők miatt:
 - a. A Lévy alak elég sok, különböző kísérletben megjelenik, ezért nem lehet a fázisátalakuláshoz kötött;
 - b. A várt fázisátalakulás vagy elsőrendű, amikor is nem lesz végtelen hosszú a korrelációs skála, hanem véges méretű domain-ekben alakul át az anyag; vagy crossover, amikor szintén nem nő a korrelációs hossz jelentősen. Az egyedül szóba jöhető eset a kritikus pont környéke, ahol olyan gyengén elsőrendű, hogy másodrendűnek látszik, de ezt kísérletileg nem lehet pontosan eltalálni, minden elmosódik más eseményekkel.
 - c. Másik elképzelhető lehetőség, hogy az elsőrendű átalakulás doménmérete nagyobb, vagy összemérhető a forrás méretével, ez esetben viszont adódik, hogy le kell vágni a Lévy eloszlást, ami mindjárt alacsonyabb α értékeket tesz elérhetővé. A másik következmény, hogy a Lévy viselkedés sokkal élesebb az elsőrendű fázisátalakulással járó kísérletekben, mint a crossoveren keresztül átalakuló folyamatokban, azaz, mivel a RHIC, és az LHC az utóbbiakhoz tartozik, nehezen tudok elképzelni még "élesebb" Lévy folyamatot az alacsonyabb energiás kísérletekben. Kérem a jelöltet, hogy pontosítsa, tulajdonképpen, mit is várnak a kritikus pont közelében, hogy milyen jelre kell a kísérleti kollégáknak figyelni.
7. (3.103)-(3.104) alapján elliptikus folyás akkor van, amikor T_x különbözik T_y -től. Kísérletileg végeztek ilyen vizsgálatot, hogy a két irányban távozó részecskék termikus spektruma a folyás levonása után különbözik-e (és ha nem, akkor elvégezhető lenne)?
8. 3.3.2-ben "A Buda-Lund modellből kapott v_2 -ben azonban a térbeli anizotrópia nem játszik szerepet". Ahol valamennyi szerepet játszhat, az a Cooper-Frye kifagyás alkalmazása: mivel ez preferálja a felületre merőleges részecskekeltést, egy (a sűrűség) ellipszis esetében a kistengely irányában több részecske jöhet ki, mint a nagytengely irányában. További hatás, hogy a kistengely irányában kisebb volt a tágulás, ezért lokálisan magasabb hőmérséklet van jelen, és több részecske is keletkezik, nagyobb sebességgel. Látszik ez a hatás (illetve ha nem mutatható ki, akkor miért nem)?

Megjegyzések (ide az elírásokat, kisebb következtetlenségeket gyűjtöttem össze, nem szükséges reagálni rájuk)

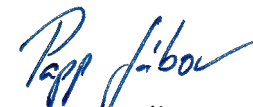
1. 7 old. közepe: ..."periférikusabb a maradék $(100-X)\%$ -nál." kicsi x helyett nagy kell;
2. 4. lábjegyzet: $1 \text{ fm}/c \approx 1/3 \cdot 10^{-23} \text{ sec}$, közelebb van a 10^{-24} -sehez a magyar kerekítési szabályok alapján 😊

3. 12. oldal: "a v_2 -vel jelölt elliptikus aszimmetria (amely nem más, mint a $\cos(2\varphi)$ szögeloszlás szerinti átlaga) tehát azt méri, hogy mekkora a gömbszimmetriától való eltérés ebben a síkban." Az összes v_n ($n > 0$) komponens a gömbszimmetriától való eltérést fejezi ki, nemcsak az $n=2$.
4. 2.5.3 "Illesztést az adatpontok alacsony száma miatt nem végezhetünk, így a 2.4 szakaszban kapott két ϵ érték átlagát vehetjük". A 2.4 fejezetben két ϵ értéket találtam: a 0-30% (0.8) és a 0-92% (0.34) centralitásosztályra vonatkozót. Gondolom nem ezek átlagát veszi, hanem a fotonokkal (nem idézett centralitásosztályban) mért értéket (0.34), ami viszont nem különbözik a hadronikustól. Így nem érthető, hogy melyik két ϵ átlagát veszi?
5. (2.78) után utána hivatkozik a (2.28) egyenletre, pedig abban még nyoma sincs a λ paraméternek! A $C_2(q)$ parametrizációban fellépő α értéknek ugye semmi köze nincs a két képlettel a (2.76)-ban feljebb definiált α -hoz? Ez a parametrizáció pusztán a numerikus integrálás eredményeire való illesztés eredménye, vagy levezethető?
6. (2.83) [91] alapján a 4/9 szorzófaktor helyett 16-nak kell lennie (3.2-es és 3.3-as képlet [91]-ben) abban az esetben, ha felösszegzünk a spinekre a bemenő csatornában, és 4-nek, ha átlagolunk rájuk. Szerencsétlen módon a finomszerkezeti állandót is α -val jelöli (legalább megemlíthetné, hogy ez a finomszerkezeti állandó, vagy (3.58)-hoz hasonlóan α_{em} -el jelölve). Ugyancsak [91] alapján piongáz esetére (2.84) -ből hiányzik egy szorzófaktor (ld. (3.6) a [91]-ben).
7. (2.142):-ben a multipoláris sorfejtéssel a sebességtér a φ függvényében szimmetrikusan pozitív és negatív értékeket vesz fel, nullára átlagolódva ki az azimutális irányban, szemben a kísérleti tapasztalattal, hogy az erős kifelé irányuló komponensre rakódik egy multipoláris perturbáció. Ez nem okoz problémákat a megfigyelhető mennyiségekkel való összevetés során?
8. 86. oldal végén nem tudom értelmezni az "irányfüggő Hubble áramlást", az anizotrópiára gondolt?
9. (3.90) után a "HG szignifikánsal" helyett "H szignifikánsan" értendő?

Összegzés

A disszertációban szereplő tételek mindegyikét összességében mindenképpen alkalmasak az "MTA doktora" cím elnyerésére. Így a fentiek alapján határozottan javaslom a nyilvános vita lefolytatását, illetve (sikeres védelem esetén) Csanád Máté számára az „MTA doktora” cím odaítélését.

Pilisjászfalu, 2021. március 23.


Dr. Papp Gábor
Az MTA doktora