

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Аджимамбетова Мусфера Даніяровича
“Спектри та кореляції частинок в ядро-ядерних і протон-протонних
зіткненнях з високою енергією та множинністю”
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Сучасні експерименти по зіткненню важких ядер та протонів на Великому адронному колайдері LHC та Релятивістському колайдері важких іонів RHIC відкривають нові горизонти у дослідженні нових форм сильновзаємодійної матерії в тому числі кварк-глюонної плазми. Разом з тим, розвиток таких експериментів вимагає побудови комплексних теоретичних моделей, що змогли б відтворити повну еволюцію системи, що від моменту зіткнення ядер і до моменту детектування десятку тисяч новонароджених частинок. Хоча для зіткнень важких ядер за ультрарелятивістських енергій якісна просторово-часова картина процесу є добре відомою та описується за допомогою широкого класу гідро-кінетичних моделей, кількісні граници на часові масштаби тих чи інших процесів є сильно розмитими. Так, наприклад, у сучасних роботах нерідко виникають дискусії стосовно протяжності стадії активного перерозсіяння частинок у адронно-резонансному газі, що формується при охолодженні та адронізації кварк-глюонної плазми. Окремо також стоїть питання про досяжність локальної термодинамічної та хімічної рівноваги, особливо у протон-протонних експериментах з малими часами життя системи. Дисертаційна робота М.Д. Аджимамбетова присвячена дослідженню просторових та часових масштабів окремих процесів еволюції сильновзаємодійної матерії у протон-протонних та ядро-ядерних зіткненнях, що безсумнівно є важливою та актуальною тематикою дослідження у сучасній фізиці.

Дисертація викладена на 145 сторінках та складається з анотації, вступу, чотирьох основних розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків про публікації здобувача, а також відомостей про апробацію результатів.

Вступ відповідає всім вимогам до оформлення дисертація. Актуальність теми добре обґрунтована, вказані наукові програми, плани, теми та гранти НАН України з якими пов’язані дослідження, сформульована мета та чітко поставлені задачі що розв’язувались у ході виконання досліджень.

У першому розділі дисертації здобувачем були проведені чисельні симуляції різних експериментів по зіткненню важких ядер на LHC та RHIC. Для цього була використана інтегрована гідро-кінетична модель. Метою таких розрахунків є відновлення детальної картини просторово-часової еволюції системи шляхом описання максимальної кількості фізичних величин, що вимірюються у експерименті. Зокрема при дослідженні впливу темпів термалізації сильновзаємодійної матерії на кінцеві адронні спектри, було встановлено, що однаково успішне описание експериментальних даних можливо у широкому діапазоні часів термалізації, якщо при цьому перенормовувати початкову густину енергії системи. Схожі результати були також отримані при розрахунках з різними гратковими рівняннями стану матерії. Такі дослідження є вкрай важливими, оскільки висновки про властивості кварк-глюонної плазми зазвичай робляться на основі кінцевих спектрів частинок, хоча як показано у дисертації, навіть в рамках однієї моделі впливи різних процесів можуть компенсувати один одного та призводити до однакового кінцевого результату. Такий результат вносить суттєві поправки на сучасні оцінки багатьох транспортних властивостей кварк-глюонної плазми, а також стимулює пошук нових вимірюваних фізичних величин, що є більш чутливими до початкової динаміки системи.

Другий розділ дисертації присвячений дослідженню просторово-часової картини випромінювання адронів із системи у ядро-ядерних зіткненнях. Для цього дисертантом було застосовано методи інтерферометричної фемтоскопії, що базується на побудові та аналізі тривимірних двочастинкових кореляційних функцій. В результаті для зіткнень ядер золота за енергії 200ГeВ були отримані інтерферометричні розміри системи, що далі були використані для розрахунку часів максимального випромінювання π та K мезонів із системи. Оскільки, як показано в дисертації, модельні розрахунки добре описують експериментальні дані, то можна очікувати, що випромінювання частинок у реальних експериментах відбувається за схожим сценарієм. Зокрема, цікавими є отриманий результат щодо довшого випромінювання каонів по відношенню до піонів, що свідчить на користь довгої стадії адронного газу з інтенсивними процесами розпаду та повторного утворення резонансів.

Окремо варто зазначити, що дисертанту, в рамках моделі, вдалося описати чотири різні сучасні експерименти по зіткненню важких ядер при зміні невеликої

кількості вільних фізичних параметрів. Завдяки цьому у дисертації було проведено цікаве дослідження, що стосується гіпотези скейлінгу у фемтоскопії. Для цього, варіацією прицільного параметра зіткнення, у моделі було досягнуто однакової множинності народження заряджених частинок у симуляціях різних експериментів. В подальшому було показано, що всупереч основній тезі гіпотези, існують суттєві кореляції між початковим розміром системи та кінцевими інтерферометричними спостережуваними, що може слугувати фундаментом для нових досліджень в цьому напрямку.

Третій та четвертий розділи дисертаційної роботи присвячені інтерпретації останніх експериментальних результатів фемтоскопії у протон-протонних зіткненнях на LHC. Дослідження ґрунтуються на тому, що за типових розмірів, температур та кількості частинок у системі, що народжуються у таких зіткненнях, суттєвими мають бути ефекти пов'язані з Бозе конденсацією піонів. Зокрема в дисертації зроблено припущення, що саме конденсація частинок може бути причиною нетривіальних експериментальних результатів фемтоскопії, які зазвичай інтерпретуються як відсутність локальної термодинамічної рівноваги у протон-протонних зіткненнях через малі розміри та короткий час життя системи. Даний тезис підкріплюється також і аналітичними розрахунками в рамках запропонованої моделі великого канонічного ансамблю з когерентним випромінюванням бозонів з основного стану системи, що передбачає спадання інтерсепту кореляційних функцій піонів при великих множинностях.

В четвертому розділі було запропоновано використання канонічного ансамблю для дослідження кореляційних функцій піонів у протон-протонних зіткненнях. Дійсно, більшість експериментальних результатів в цьому напрямі отримані при відборі невеликого відсотка окремих зіткнень з великими, але дуже близькими множинностями народження частинок. Як показано у дисертації, при випромінюванні частинок з повністю теплової системи, у виділеному підансамблі спостерігається високий рівень когерентності, що також проявляється у пониженні інтерсепту кореляційних функцій. Вказані ефекти посилюються зі збільшенням множинності системи та збільшенням гідродинамічних потоків та якісно узгоджуються з експериментальними даними. Загалом, результати третього та четвертого розділу можуть бути важливим кроком до розуміння процесів термалізації кварк-глюонної плазми та вивчення властивостей сильновзаємодійної матерії в цілому.

Серед недоліків та зауважень до дисертації можна відмітити наступне:

1) Присутні деякі недоліки у оформленні роботи.

Наприклад присутні помилки друку, як у другому абзаці знизу на сторінці 24; у рівнянні (4.7) на сторінці 112; другий абзац висновків до другого розділу тощо.

Рисунки на сторінках 116 — 119 дещо зсунуті вліво.

На рис. 2.5, що на сторінці 80 функції емісії краще було б представити в межах від 0 до 15 fm.

Розділи 3.2.3 “Результати фемтоскопічної інтерферометрії у великому канонічному ансамблі” та 3.2.4 “Порівняння результатів” із параграфа “Метод” варто було б відокремити у окремий параграф з результатами.

2) В розділах 3-4 модель є нерелятивістською, проте піони за типових температур фрізауту 150 MeV є релятивістськими частинками. Можливо варто було б оцінити релятивістські поправки отриманих результатів.

3) У другому розділі варто було б навести точне означення функції емісії, що представлена на Рис. 2.5. Окрім того, не зрозуміло чому функція емісії представлена лише для певного вузького діапазону імпульсів 0.2 - 0.3 ГeВ/c, та чи використовувалося подібне обмеження на імпульси при розрахунках часів максимального випромінювання частинок.

4) Формула (1.13), що параметризує термалізацію системи ніяк не залежить від густини матерії. Таким чином щільний центр системи та її розріджена периферична частина досягають локальної рівноваги одночасно, що є дуже дивним наближенням.

Проте зазначені недоліки не знижують загальної високої оцінки результатів, що отримані у дисертаційній роботі.

Підsumовуючи, вважаю, що дисертаційна робота М.Д. Аджимамбетова є завершеною науковою працею, що містить ряд важливих та цікавих результатів. Матеріали викладені в рукописі опубліковані в дев'яти журнальних статтях. Не маю також сумнівів у їх новизні та рівні апробації. Дисертація викладена логічно та послідовно, результати підкріплюються великою кількістю графіків та порівнянням з експериментальними даними. Дисертант же показав вміння розв'язувати складні

фізичні задачі та проблеми, та в достатній мірі оволодів методологією наукової діяльності. Тому вважаю, що Аджимамбетов Мусфер Даніярович безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 — фізики та астрономія.

Рецензент

доктор фіз.-мат. наук, професор,
член кореспондент НАН України,
завідувач відділу
Теорії ядра і квантової теорії поля
ім. М.М. Боголюбова НАН України



Юрій СИТЕНКО

Підпис рецензента Ю.О. Ситенка засвідчує:

Вчений секретар

Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова НАН України



Сергій ПЕРЕПЕЛИЦЯ