

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора фізико-математичних наук, професора кафедри фізики металів Київського національного університету імені Тараса Шевченка Єжова Станіслава Миколайовича – на дисертаційну роботу Побережнюка Романа Володимировича «Фазові перетворення та критична точка сильновзаємодіючої матерії в ядро-ядерних зіткненнях», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 — теоретична фізика.

Дослідження критичної поведінки сильновзаємодіючої матерії є важливим сучасним напрямком теоретичної фізики. Зокрема, становить значний інтерес можливий фазовий перехід деконфайнмента (перехід матерії з адронного стану в стан кварк-глюонної плазми). Для підтвердження існування цього фазового перетворення, а також для визначення його локалізації необхідна розробка однозначних експериментальних сигналів його наявності. Інший фазовий перехід в сильновзаємодіючій матерії, перехід між ядерною рідиною та ядерним газом, був спостережений при вивченні зіткнень на низьких енергіях. Природа і властивості фазового перетворення та критичної точки ядерної матерії являються предметом інтенсивних досліджень. Дисертаційна робота Р.В. Побережнюка виконана саме в цих актуальних і важливих напрямках і присвячена теоретичному вивченню флуктуацій та середніх чисел частинок в околі фазових переходів та в околі критичної точки сильновзаємодіючої матерії в ядро-ядерних зіткненнях в рамках статистичних моделей.

В дисертації Р.В. Побережнюка чітко сформульовані мета, постановка та розв'язки наступних задач:

Зроблено якісні оцінки впливу фазового переходу деконфайнмента на поведінку множинності дивних частинок (в протон-протонних взаємодіях), чарівних частинок (в зіткненнях ядер свинець-свинець) та сильноінтенсивних мір флуктуацій як функцій енергії зіткнення.

До опису системи взаємодіючих пі-мезонів застосовано квантову модель Ван дер Ваальса із статистикою Бозе. Знайдено обмеження такого опису, що проявляється у наявності граничної температури (найбільшої можливої температури системи). Одержані залежності граничної температури від параметрів моделі та виявлені властивості поведінки фізичних величин в околі граничної температури. Показана відповідність у поведінці термодинамічних функцій газу пі-мезонів із рівнянням стану ван дер Ваальса та адронної матерії із рівнянням стану Хагедорна.

Знайдені аналітичні вирази для флуктуацій, зокрема коефіцієнта асиметрії та куртозису розподілу числа частинок в газі ван дер Ваальса у великому канонічному ансамблі. Досліджено поведінку цих мір флуктуацій в околі критичної точки газу Ван дер Ваальса. Даний результат узагальнений на випадок квантової моделі Ван дер Ваальса із статистикою Фермі, яку можна застосовувати до опису системи взаємодіючих нуклонів (ядерної матерії).

Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів, список літератури містить 129 найменувань.

Перший розділ присвячений можливим експериментальним сигналам фазового переходу деконфайнмента у релятивістських ядро-ядерних зіткненнях. Зокрема, тут зроблені передбачення щодо впливу деконфайнмента на утворення дивності в непружних протон-протонних взаємодіях, відкритої чарівності в зіткненнях ядер свинець-свинець та на флуктуації числа частинок. Для опису фазового переходу застосована статистична модель ранньої стадії. Оскільки в даних реакціях число дивних та чарівних частинок є малим, в модель було введено точне збереження дивності та чарівності, що було досягнуто в рамках формалізму канонічного ансамблю. Знайдений вплив точних законів збереження на термодинамічні функції та положення фазового переходу. У результаті врахування точного закону збереження дивності температура, тиск та густина енергії системи, а також положення точок початку та кінця змішаної фази зазнають змін. Значна відмінність спостерігається у відношенні дивності до ентропії, яке виявляється суттєво залежним від розмірів системи. В рамках моделі показано, що в той час

як залежність відношення дивності до ентропії від енергії зіткнення зазнає порушення монотонності в результаті фазового переходу, відношення чарівності до ентропії швидко зростає зі збільшенням енергії зіткнення і залишається монотонним. В якості мір флуктуацій в даному розділі використовуються нещодавно запропоновані, сильноінтенсивні величини (ці міри флуктуацій застосовуються через необхідність виключити шум від флуктуацій розмірів системи в ядроядерних зіткненнях). В декількох розглянутих випадках передбачена суттєва зміна в залежності від енергії зіткнення цих величин, як результат фазового переходу. Отримані результати надають можливість спостереження нових сигналів деконфайнмента в експериментах по зіткненням важких іонів.

Другий розділ присвячений нещодавно запропонованій моделі Ван дер Ваальса у формалізмі великого канонічного ансамблю. Інтерес до моделі Ван дер Ваальса зумовлений тим, що вона є найпростішою моделлю що описує притягання та відштовхування між частинками, а також фазовий перехід першого роду та критичну точку. Тут були отримані вирази для флуктуацій, а саме для нормованої варіації, коефіцієнта асиметрії, та куртозиса розподілу числа бальцманівських взаємодіючих частинок із рівнянням стану Ван дер Ваальса. Флуктуації числа частинок є розбіжними в критичній точці. Виявлено, що область кросоверу фазової діаграми характеризується великим значенням нормованої варіації, майже нульовим коефіцієнтом асиметрії і суттєво від'ємним куртозисом. Нетривіальна структура коефіцієнта асиметрії та куртозиса спостерігається у великій області біля критичної точки на фазовій діаграмі. Зокрема, обидві ці міри можуть приймати великі додатні та від'ємні значення. Показано, що газоподібна фаза характеризується додатними значеннями коефіцієнта асиметрії, тоді як рідинна фаза -- від'ємними. Також розглянуто сильноінтенсивні міри флуктуацій числа частинок та енергії. Для виразів, що отримані в даному розділі, виконується закон відповідних станів. Тобто, у приведених змінних дані вирази не залежать від конкретних значень параметрів моделі, що збільшує їхню універсальність.

В третьому розділі використовується, нещодавно запропонована, квантова модель Ван дер Ваальса. Дана модель є узагальненням рівняння стану Ван дер

Ваальса у формалізмі великого канонічного ансамблю, що враховує ефекти квантової статистики. В роботі версія даної моделі з Бозе статистикою застосовується до опису рівноважної системи взаємодіючих пі-мезонів. Показано, що при достатньо великій силі притягання між піонами виникає гранична температура, яка являє собою найбільшу температуру при якій система має стабільні розв'язки. В той час як тиск, густина числа піонів та густина енергії системи залишаються обмеженими, теплоємність і нормована варіація розподілу числа піонів прямують до нескінченності при підході до граничної температури. Також, гранична температура відповідає найм'якшій точці рівняння стану. Показано, що дуже схожа термодинамічна поведінка має місце в моделі Хагедорна для спеціального вибору параметрів. Наявність граничної температури, безсумнівно, є свідченням обмеження в області можливого застосування моделі. Очікується, що граничну температуру адронної матерії з рівнянням стану Ван дер Ваальса можна усунути завдяки введенню фундаментальних кварк-глюонних ступенів вільності, що може бути зроблено в майбутніх роботах і дозволить застосовувати дану модель при високих температурах.

Четвертий розділ присвячено застосуванню квантової моделі Ван дер Ваальса до опису нескінченної системи взаємодіючих нуклонів (ядерної матерії). В цьому випадку використовується версія моделі зі статистикою Фермі. В роботі передбачення квантової моделі Ван дер Ваальса для ядерної матерії порівнюються з передбаченнями моделі Валечки. Значення параметрів моделей однозначно фіксуються з відомих властивостей ядерної матерії в основному стані. Критичні індекси та критичні амплітуди в квантовій моделі Ван дер Ваальса з статистикою Фермі досліджуються аналітично та чисельно. Показано, що врахування статистики Фермі не впливає на значення критичних індексів, проте впливає на значення критичних амплітуд. При великій густині числа нуклонів передбачення щодо поведінки термодинамічних функцій в даних моделях сильно відрізняються. В той же час, показано, що ці відмінності не є значними в області критичної точки. Що стосується критичної поведінки, обидві моделі входять в клас універсальності моделей середнього поля. Також, розглянуто гібридну мо-

дель, в якій взаємодії притягання здійснюються через обміни скалярними сигма-мезонами, як в моделі Валечки, а взаємодії відштовхування реалізуються через поправку виключеного об'єму, як в квантовій моделі Ван дер Ваальса.

Також в четвертому розділі одержано трансцендентні вирази для флуктуацій числа нуклонів поблизу критичної точки ядерної матерії в рамках моделі Ван дер Ваальса зі статистикою Фермі. Дані вирази мають більш складний вигляд у порівнянні з відповідними виразами для флуктуацій у класичному газі Ван дер Ваальса, які були отримані у другому розділі. Не зважаючи на це, показано, що ефекти квантової статистики якісно не впливають на поведінку флуктуацій в області фазового переходу та критичної точки. Закономірності у флуктуаціях, що знайдені в роботі, узгоджуються з передбаченнями інших моделей (зокрема, ефективних моделей КХД) та можуть бути корисними для покращення розуміння критичної поведінки сильновзаємодіючої матерії, а також уточнення положення критичної точки КХД.

В підсумку відмічу, що дисертаційна робота Р.В. Побережнюка є цілісною і завершеною науковою працею, що містить оригінальні і важливі результати з актуального напрямку в сучасній теоретичній фізиці – виявлення властивостей критичної поведінки сильновзаємодіючої речовини. Результати дисертації є новими та всебічно і належним чином обґрунтовані. Отримані наукові результати, безумовно, є корисними і перспективними. Текст дисертації написано в достатній мірі ясно і з належною теоретико-фізичною та математичною строгістю.

Однак можна вказати на деякі недоліки дисертаційної роботи, зокрема:

1. Термін «куртозис» (kurtosis) опонент в даному відгуку використовує саме в такому сенсі, як його використовує дисертант. Хоча в літературі цей термін визначає тісно пов'язану з тією, що використовує дисертант, але трошки іншу величину. Така розбіжність ускладнює сприйняття дисертаційної роботи;
2. Стор. 73 3-й рядок зверху. Не вказаний номер рівнянь, які визначають значення густини $n(T)$ і тиску $p(T)$.

3. В четвертому розділі в описі рисунку 4.3 нечітко проведене порівняння між лівим (а) та правим (b) рисунками.

Проте вказані зауваження ніяким чином не зменшують актуальність та наукову новизну дисертаційної роботи, а сама робота є значним внеском у вивчення флуктуацій у характеристиках сильновзаємодіючої матерії в околі фазових переходів та критичної точки.

Основні результати та висновки дисертаційної роботи опубліковано у 8 статтях у провідних фахових наукових журналах, обговорювалися на авторитетних наукових конференціях, школах та семінарах. Наукові розробки дисертації Р.В. Побережнюка доволі широко відомі іншим науковцям і вже отримали певний подальший розвиток у роботах інших авторів.

Автореферат дисертації за змістом і формою відповідає дисертаційній роботі і повністю відображає зміст її основних наукових положень.

Дисертація Р.В. Побережнюка “Фазові перетворення та критична точка сильновзаємодіючої матерії в ядро-ядерних зіткненнях” відповідає всім вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Роман Володимирович Побережнюк, без сумніву, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Професор кафедри фізики металів

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка

доктор фізико-математичних наук



С.М. Єжов

Підпис С.М. Єжова підтверджую

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕННЯ СЕКРЕТАР НДЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
19.01.2018р.

