

Відгук
офіційного опонента О.Я.Дзюблика на дисертацію
Побережнюка Романа Володимировича
«Фазові перетворення та критична точка сильновзаємодіючої
матерії в ядро-ядерних зіткненнях»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-
математичних наук за спеціальністю 01.04.02 - теоретична фізика

Вже загально прийнято, що елементарні частинки, зокрема нейтрони та протони ядер, складаються з кварків, що взаємодіють за допомогою глюонів. Витягнути кварки з нуклонів виявляється неможливим в силу їхніх специфічних властивостей, але в такій дивній фазі речовини, як кварк-глюонна плазма, нуклони вже втрачають свою індивідуальність, а кварки та глюони поводять себе, як єдина колективна система. Кварк-глюонна плазма утворюється при високих температурах ядер, які досягались при їх зіткненнях на таких прискорювачах, як супер-прискорювач протонів в ЦЕРНі SPS, великий адронний коллайдер, тощо. Крім того, вона можливо існує всередині нейтронних зірок, де густина речовини надзвичайно велика і хвильові функції нуклонів суттєво перекриваються. Цей новий стан речовини інтенсивно вивчається в останні роки і можна сподіватись, що подібні дослідження приведуть до перегляду ряду фундаментальних теоретичних моделей фізики...

Кварк-глюонна система надзвичайно складна – вона характеризується багатьма степенями вільності і крім того толком невідомий характер сил взаємодії між кварками. Суттєвий внесок в розуміння кварк-глюонної плазми та сигналів, що вказують на фазовий перехід із звичайної адронної фази ядер в кварк-глюонну, внесли і продовжують вносити феноменологічні моделі. Дисертацію Р.В.Побережнюка як раз і присвячено подальшому розвитку таких моделей, що вказує на її актуальність.

В першій главі дисертації статистична модель ранньої стадії релятивістських ядро-ядерних зіткнень (SMES), розвинута Гадзінським і Горенштейном, застосовується для вивчення енергетичної залежності дивності в $p+p$ зіткненнях, а також чарівності і флуктуаціям числа частинок в $Pb+Pb$ зіткненнях в області енергій SPS. Ця модель описує деконфаймент, як фазовий перехід першого роду. Вона передбачила гострий максимум в відношенні числа дивних адронів до піонів при енергіях нуклонів в системі центра мас порядку 7,5 MeV. Це передбачення було блискуче підтвержене в експериментах по $Pb+Pb$ зіткненням, де спостерігався пік (ріг) в енергетичній залежності відношення виходу каонів і піонів K^+/π^+ при відносно малих енергіях.

SMES оперує такими статистичними параметрами, як тиск, температура, об'єм, тощо. Дисертант обирає об'єм розігрітої до високих температур системи, як лоренцевські-скорочений в напрямку руху ядер об'єм одного ядра, обрахованого за класичною формулою. При цьому вважається, що лоренцевський фактор залежить від початкової швидкості відносного руху ядер. Розглядаються лише лобові зіткнення ядер. Але при

зіткненні ядер вони поступово проходять одне скрізь друге, а нуклони втрачають частку кінетичної енергії при непружних зіткненнях. Тобто швидкість ядер по мірі їхнього входження одне в друге зменшується і це має призвести до зростання лоренцевські-скороченого об'єму. Крім того, в дисертації не пояснюється при якому ж перекритті ядер, що зіштовхуються, відбувається та сама початкова стадія релятивістських ядро-ядерних зіткнень, а саме коли вона починається і коли закінчується. Звичайно, такі та інші можливі уточнення значно ускладнили б розрахунки і в якісному розумінні процесів не дали б нічого нового.

Побережнюк розглядає фазові переходи першого роду між фазою адронів та кварк-глюонною фазою в припущенні, що реалізується стан з максимальною ентропією. Розрахунки проводяться в рамках канонічного ансамблю вважаючи, що частинки утворюють ідеальний газ. Дисертантом пораховані такі важливі речі, як залежність температури, тиску, густини ентропії, відношення дивності до ентропії, тощо від енергії зіткнення. При цьому враховується точне збереження дивності та чарівності. Показано, що змішана фаза, тобто співіснування адронної та кварк-глюонної фази, починається при енергії зіткнення 7.42 GeV і закінчується при 10.83 GeV.

При розгляді $p+p$ зіткнень рахується повна густина дивності чистих адронної та кварк-глюонної фаз. При цьому в рівнянні (1.18) вводиться *ad hoc* додатковий параметр λ , фізичний зміст якого, на жаль, залишається незрозумілим. Обчислюється відношення дивності до ентропії в залежності від енергії для зіткнень $Pb+Pb$ та $p+p$, яка має різкий пік (rig) при енергії ~ 10 GeV, що якісно узгоджується з експериментом.

В першій главі ніяк не враховувалась взаємодія між частинками. Тому в другій главі застосовується вже унікально проста і фізична модель ван дер Ваальса, яка чудово описує звичайні реальні гази і рідини, а також визначає фазові переходи між ними. Взаємодії між частинками враховуються всього за допомогою двох параметрів a і b . На жаль, стандартна модель ван дер Ваальса не описує системи зі змінним числом частинок, а саме зникнення початкових баріонів та народження багатьох нових частинок, що спостерігаються експериментально при високих густинах енергії. Тому в дисертації використовується узагальнення цієї моделі, зроблено проф. Горенштейном та іншими, на випадок великого канонічного ансамблю, в якому варіації числа частинок вже враховуються за допомогою хімічного потенціалу μ . Сама ж густина частинок визначається трансцендентними рівняннями, як функція T і μ^* , де μ^* - узагальнений хім. потенціал, даний в дисертації. При цьому використовується бозманівська статистика. А в третій главі все це робиться, застосовуючи вже квантову статистику, тобто експоненціальний розподіл Больцмана замінюється розподілами Фермі для ферміонів і Бозе-Ейнштейна для бозонів. Це дає змогу поширити теорію на випадок більш помірних енергій і відповідно до більш низьких температур ядер. Приємно відзначити також, як сміливий крок дисертанта те, що у всіх варіантах

моделі складні і до кінця невідомі ядерні сили враховуються всього двома параметрами **a** для відштовхування і **b** для притягання.

У всіх трьох главах значна увага приділяється вивченню флуктуацій. Справа в тому, що спостереження великих флуктуацій числа частинок при певних енергіях свідчило б про те, що експериментатори досягли критичної точки на фазовій діаграмі ядрена рідина-газ. Тому вкрай важливими є результати дисертанта по статистичним моментам куртозису і асиметрії, що визначають флуктуації.

Нарешті, в третій главі представлені також цікаві розрахунки температурної залежності термодинамічних потенціалів, а також швидкості звуку і теплоємності для газу піонів.

В четвертій главі в рамках моделі ван дер Ваальса з квантовою статистикою вивчається ядрена матерія. Розраховані різні залежності. Зокрема, фазові діаграми рідина-газ (ізотерми) для помірних енергій, на яких видно положення критичної точки. Модель ядерної матерії Побережнюка узгоджуються з моделлю Валечки. Дисертант також наголошує, що при $T=0$ може існувати лише рідинна фаза ядерної матерії. Однак це твердження не узгоджується з тріумфом оболонкової моделі ядер.

Результати дисертації можуть бути використані для інтерпретації і планування високоенергетичних експериментів, що проводяться на провідних прискорювачах світу. Крім того, розрахунки Побережнюка в рамках квантової версії моделі ван дер Ваальса важливі для подальшого розвитку моделей ядерної матерії.

Дисертація написана простою мовою та чудово ілюстрована кольоровими рисунками. Є в цьому відношення і незначні недоліки. Так не слід писати «фазовий перехід деконфайнменту», оскільки деконфайнмент і є фазовим переходом (тут тавтологія).

Матеріали дисертації опубліковані в престижних журналах і доповідались на численних конференціях. Як об'єм дисертації, так і якість та кількість результатів, представлених в ній, цілком відповідають всім вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України до дисертацій, що представляються на здобуття наукового ступеня кандидата фіз.-мат. наук.

Отже, Р.В.Побережнюк безумовно заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Доктор фіз.-мат. наук
провідний науковий
співробітник ІЯД НАНУ

О.Я.Дзюблик

Підпис О.Я.Дзюблика засвідчую:

Заступник директора
ІЯД НАНУ



В.Ю.Денисов