

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Лашко Юлії Анатоліївни
"Багатокластерна теорія легких атомних ядер",
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за
спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Актуальність теми дисертаційної роботи. В останнє десятиріччя значну увагу було приділено дослідженням властивостей легких слабков'язаних ядер з відносно великим надлишком нейtronів. За своїм складом такі ядра наближаються до нейtronної матерії, тому їх вивчення є важливим для задач астрофізики, зокрема, для розуміння процесів, що відбуваються в нейtronних зірках. Крім того, їх дослідження дає змогу визначити роль та внески різних компонентів ядерної взаємодії, а також особливості колективного руху і процесів розпаду, що відбуваються у розрідженій ядерній речовині. Такі дослідження є надзвичайно складними, оскільки в їх рамках необхідно коректно враховувати як кінематичні кореляції в русі нуклонів (зокрема, ті, що є обумовленими збереженням руху центра мас, кутового моменту і принципом Паулі), так і великі ймовірності розпаду таких ядер. Тому будь-які спроби застосування наближених методів вимагають попереднього дуже ретельного та глибокого теоретичного аналізу, заснованого на використанні фундаментальних фізичних принципів та математично надійних методів. Роботу Ю.А. Лашко присвячено розвитку та аналізу такого підходу, а саме – мікроскопічного методу врахування взаємозв'язку кластерних та колективних ступенів свободи ядер та їх впливу на процеси багатоканального розпаду, що супроводжуються збудженням або перебудовою структури ядер. Це, безумовно, свідчить про актуальність дисертації.

У дисертаційній роботі набула подального розвитку розробка модифікованої для практичних застосувань алгебраїчної версії методу резонуючих груп (АВМРГ) із використанням базисних функцій простору Фока-

Баргмана, що дозволило мікроскопічно коректно визначити достатньо велику кількість характеристик зв'язаних та неперервних станів легких ядер та послідовно проаналізувати вплив принципу Паулі на характер поведінки кластерів у процесі зіткнення ядер.

Ступінь обґрутованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Ю.А. Лашко, є достатньою та базується на детальному та повному аналізі наукової документації, літературних джерел за проблемою, що вирішувалась при виконанні даної роботи, коректно визначених меті та постановці задач дослідження, використанні апробованих методів теоретичних досліджень із подальшим співставленням отриманих результатів, критичному аналізі результатів роботи, коректному формулюванні висновків дисертації.

Обґрутованість і достовірність результатів досліджень, отриманих при виконанні робіт в рамках дисертаційної роботи, підтверджено апробацією на семінарах та конференціях, а також публікаціями статей у наукових фахових виданнях з фізико-математичних наук, у тому числі 22 статей, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS.

Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій. Новизна наукових положень полягає у наступному:

- 1) визначено, що у багатоканальних зіткненнях кластерів з надлишком нейtronів, найбільш імовірно, визначальну роль відіграють власні значення матриці густини (ядра нормування) бінарної кластерної системи;
- 2) отримано вираз для ефективного міжкластерного потенціалу, що породжується оператором кінетичної енергії відносного руху кластерів з урахуванням принципу Паулі. Вперше показано, що точне врахування ефектів антисиметризації на оператор кінетичної енергії призводить або до ефективного відштовхування кластерів, або до їх ефективного притягання, на підставі чого і встановлено умови, за яких відбувається ці процеси;

- 3) розроблено алгоритм розв'язку багатоканальних задач з урахуванням різного типу кластеризацій. Як наслідок, вдається оцінити величину ефективних перерізів ядерних реакцій, що супроводжуються збудженням або перебудовою кластерів;
- 4) вперше проведено детальний аналіз структури власних функцій і поведінки власних значень трикластерного ядра нормування;
- 5) доведено, що у представленні Фока-Баргманна незалежними змінними хвильової функції стають і координати нуклонів, і імпульси, а функція розподілу густини ймовірності є визначеною в фазовому просторі.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження. Основні результати, отримані при проведенні дисертаційного дослідження, розширяють можливості теоретичних підходів щодо вивчення структури та властивостей слабкозв'язаних легких ядерних систем. Необхідність пізнання основних процесів у таких системах підштовхує розвиток відповідних експериментальних досліджень, в т.ч. з використанням радіоактивних пучків. У свою чергу, вивчення цих об'єктів відкриває нові можливості в розумінні особливостей самої ядерної взаємодії.

Повнота викладу в опублікованих працях положень, висновків, рекомендацій. Основні положення і висновки дисертації повно і своєчасно опубліковано в 37 наукових працях здобувача (з них, 22 роботи опубліковано в фахових наукових журналах). Результати дисертації було багаторазово апробовано на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях та семінарах, є добре відомими фахівцям як в Україні, так і за її межами. Зокрема, високий міжнародний рівень досліджень та їх достовірність підтверджується публікаціями автора у провідних міжнародних наукових журналах (Phys.Rev.C; Nuclear Physics A) та перевіркою і використанням іншими авторами отриманих дисертанткою результатів (35 цитувань згідно міжнародної науковометричної бази SCOPUS).

Загальна характеристика структури та змісту роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів та загальних висновків. Кожен розділ має окремий вступ і висновки за результатами виконаних досліджень.

Основною тезою **вступу** є перелік ядерно-фізичних задач, що були розв'язаними. Також проведено обговорення їхньої актуальності, відмічено наукову новизну, зосереджено увагу на методах дослідження та відзначено особистий внесок авторки роботи в їх розв'язок.

У **першому розділі** дисертаційної роботи сформульовано положення дискретного представлення дозволених станів, на основі якого вдається точно врахувати вплив принципу Паулі на процеси зіткнення легких атомних ядер, що досліджувалися в рамках методу резонуючих груп. Головною особливістю даного підходу є використання простору Фока-Баргманна, що допомогло авторці отримати досить простий опис динамічних явищ, які супроводжують процеси зіткнення легких ядер. Детально проаналізовано вплив принципу Паулі на динаміку кластер-кластерної взаємодії в одноканальніх бінарних кластерних системах. Отримано вираз для ефективного міжкластерного потенціалу, що породжується оператором кінетичної енергії відносного руху кластерів під впливом принципу Паулі, та встановлено властивості даного потенціалу, а також розраховано радіус та інтенсивність цього потенціалу для двокластерних систем. Вперше показано, що точне врахування таких ефектів антисиметризації призводить або до ефективного відштовхування кластерів, або до їх ефективного притягання, після чого встановлено умови, за яких відбувається цей процес.

У **другому розділі** дисертації проаналізовано вплив принципу Паулі на відносний рух легких ядер у процесі їх зіткнення для багатоканальних бінарних кластерних систем із надлишком нейtronів. Встановлено, що в таких зіткненнях визначальну роль відіграють власні значення матриці густини бінарної кластерної системи. Оцінено перерізи непружного розсіяння на ядрах,

коли враховується збудження взаємодіючих підсистем, а також ефективних перерізів реакцій перебудови ядер.

Авторкою розроблено алгоритм зв'язку багатоканальних задач із урахуванням різного типу кластеризацій. Розглянуто співіснування різних кластерних конфігурацій в ядрі ^{12}Be та в тетранейтроні. Досліджено можливість встановлення зв'язку між результатами мікроскопічної моделі та параметрами ортогоналізуючого потенціалу, що часто використовують у макроскопічних моделях для моделювання принципу Паулі.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу впливу принципу Паулі на структуру станів дискретного та неперервного спектра трикластерних систем. Вперше здійснено детальний аналіз структури власних функцій і поведінки власних значень трикластерного ядра нормування. Запропоновано шлях розв'язку проблеми SU(3) виродження дозволених принципом Паулі станів із використанням власних значень бінарних підсистем. Враховано, що кожне сімейство дозволених принципом Паулі станів асимптотично відповідає певному бінарному порогу розпаду трикластерної системи на двокластерну підсистему, що знаходиться в основному або збудженному стані гармонічного осцилятора, і третій кластер. Така асимптотична поведінка дозволяє визначити можливі канали розпаду трикластерних ядер.

Також у даному розділі розглянуто вплив кластерної поляризації бінарних підсистем на спектр ядра ^{10}Be ; досліджено залежність спектру його зв'язаних і резонансних станів від вибору нуклон-нуклонного потенціалу та проведено порівняння з експериментальними даними.

У **прикінцевій частині** дисертації сформульовано висновки та стисло наведено основні результати досліджень.

Зауваження та дискусійні положення дисертаційного дослідження

У цілому, дисертація Ю.А.Лашко є актуальнюю і завершеною науково-дослідницькою роботою, що містить фундаментальні теоретичні дослідження

та результати з визначення ролі та розробки мікроскопічних методів опису кластерних структур в легких ядрах і послідовного врахування принципу Паулі. Основні результати дисертаційної роботи є новими, достовірними та ретельно обґрунтованими. Їх достовірність, зокрема, базується на використанні адекватного математичного формалізму та сучасних методах числових розрахунків і, там де це можливо, підкріплюється узгодженням як з експериментальними даними, так і з теоретичними результатами інших авторів.

У тексті дисертаційної роботи є присутніми деякі стилістичні та очевидні друкарські помилки в незначній кількості.

Загалом, дисертація написана гарною науковою мовою, за винятком деяких моментів, що потребують додаткових пояснень. Разом з цим під час опрацювання дисертаційної роботи сформулювалися наступні зауваження.

1) На мою думку на стор.106 дисертаційної роботи недостатньо чітко обговорюється внесок кулонівської взаємодії в отримані результати. Більш детального обговорення потребує метод врахування кулонівської взаємодії, та було необхідно навести вираз для потенціалу з урахуванням можливої деформації кластерів при їх зіткненнях.

2) Було б доцільним порівняти отримані автором результати з обчислення ефективного потенціалу, імітуючого дію принципу Паулі, з результатами, що були отриманими у кандидатській дисертації О.М.Сичної “Динаміка гаусових хвильових пакетів”, що була захищеною у 2002 р. під керівництвом проф. Г.Ф.Філіпова.

3) Для опису взаємодії між нуклонами в роботі використовується декілька двочастинкових потенціалів різних авторів. Необхідно було б навести їх, відмітити їх розбіжності та кількість параметрів, від яких вони залежать, а також проаналізувати можливість використання єдиного потенціалу, що його можна було б вважати найбільш універсальним і надійним при дослідженнях властивостей легких ядер та ядерних реакцій між ними.

4) В дисертаційній роботі детально розглянуто вплив принципу Паулі на трикластерні ядерні системи. Зокрема, демонструються ефекти антисиметризації на пружне та непружне двочастинкове розсіяння, тобто, коли два кластери утворюють зв'язану пару. Виникає питання, чому в роботі не розглянуто ефекти принципу Паулі у випадку так званого розсіяння три в три, або, іншими словами, сухо тричастинкове розсіяння?

5) Також при детальному розгляді матеріалів роботи виникає питання щодо умов реалізації послідовного або альтернативного каналу розпаду $(A,Z) \rightarrow (A-2,Z)^{+2}n \rightarrow (A-2,Z)^{+n+n}$ систем, що складаються з s-кластера та двох нейтронів?

6) Іноді зустрічаються нестандартні терміни та описки. Зокрема, замість слів "збігатися" і "кількість" використовуються "співпадати" і "число", але, в цілому, оформлення тексту дисертації є коректним та відповідає вимогам МОН України.

Зазначені зауваження не знижують загальної дуже високої оцінки результатів, що їх отримано в дисертаційній роботі Ю.А. Лашко.

Положення і висновки, що викладені в дисертації, розроблений метод дослідження квантових малонуклонних систем доцільно рекомендувати для використання при виконанні наукових робіт, а також викладанні курсів лекцій з ядерної фізики та теорії багаточастинкових систем у науково-дослідних інститутах та вищих навчальних закладах (наприклад, Інституті ядерних досліджень НАНУ; Київському національному університеті імені Тараса Шевченка; Харківському національному університеті ім. В.Н. Каразіна тощо).

Автореферат повністю відображає основний зміст виконаних досліджень і отриманих результатів дисертаційної роботи та є оформленним згідно з вимогами ДАК МОН України.

До результатів докторської дисертації не включено наукові положення і дослідження, за якими було захищено кандидатську дисертацію.

Висновок щодо відповідності дисертації вимогам ДАК України

З матеріалів, представлених у дисертаційній роботі, можна констатувати, що Ю.А.Лашко є висококваліфікованим науковцем, який вільно та досконало володіє сучасними аналітичними та числовими методами теоретичної фізики та програмування.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота "Багатокластерна теорія легких атомних ядер" є закінченою науково-дослідною роботою, в якій розроблено новий достовірний і практичний метод обчислення характеристик легких ядер та ядерних реакцій з ними. За актуальністю, обсягом проведених досліджень, рівнем і кількістю публікацій та новизною отриманих результатів дисертація повністю відповідає вимогам щодо докторських дисертацій п.п.9, 10, 12 і 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою КМУ від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від 27.07.2016 р.), а її авторка, Юлія Анатоліївна Лашко, безумовно, заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.02 - теоретична фізика.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри ядерної фізики
фізичного факультету Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка,
доктор фіз.-мат. наук, проф.

I.M.Каденко

ПІДАНИС ЗАСЛІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НДЧ
КАРАУЛЬНА Н. В.
03 . 04 2018 р.

