

В І Д З И В

опонента на дисертаційну роботу

Тімченко Ірини Сергіївни

“Кулонова сума та кулонова енергія ядра ${}^7\text{Li}$ ”,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок

і високих енергій

Актуальність теми дисертаційної роботи. Дослідження властивостей легких ядер та ядерних реакцій з ними є актуальними задачами сучасної ядерної фізики. Зокрема, такі дослідження стимульовано аналізом астрофізичних даних з розповсюдження легких елементів у Всесвіті та новітніми дослідженнями екзоенергетичних реакцій взаємодії легких ядер. Велика кількість легких ядер є слабкозв'язаними системами з чіткою кластерною структурою, що дозволяє їм змінювати їх розміри та форму (тобто поляризуватися) при взаємодії з іншими ядрами. Поява нейтронів на периферії ядер може суттєво зменшити вплив кулонівської взаємодії у порівнянні з ядерною і, як наслідок, збільшити перерізи взаємодії легких ядер.

Дисертаційну роботу І.С. Тімченко присвячено визначенню кулонової суми та кулонової енергії ядра ${}^7\text{Li}$ на основі експериментальних даних з розсіювання високоенергетичних електронів ядрами та подальшого аналізу ступеня кластеризації ядра. Така постановка задачі свідчить про її актуальність.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі І.С. Тімченко, є достатньою та базується на детальному та досить повному аналізі наукової документації, літературних джерел за проблематикою роботи, що вирішувалась при виконанні даної роботи, коректно визначених меті та постановці завдань дослідження, використанні апробованих методів

досліджень та теоретичних оцінок із подальшим аналізом та порівнянням отриманих результатів з наявними даними, критичному аналізу результатів роботи, коректному формулюванні висновків дисертації.

Достовірність здобутих у роботі результатів не викликає сумнівів. Наукові положення і висновки, що їх сформульовано в дисертаційній роботі, ґрунтуються на здобутих результатах, є достатніми і належним чином обґрунтованими.

Обґрунтованість і достовірність результатів досліджень, отриманих при вирішенні завдань в рамках дисертаційної роботи, підтверджено апробацією на конференціях, а також публікаціями статей у наукових фахових виданнях, у тому числі 4 статті, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS.

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

- вперше отримано експериментальні оцінки $R_L(q_c, \omega)$, $S_L(q)$ та E_{coul} ядра ${}^7\text{Li}$;
- при аналізі кулонової суми ядра ${}^7\text{Li}$ виявлено схожий аномальний тренд у $S_L(q)$, що раніше спостерігався також на ядрі ${}^6\text{Li}$, та може бути поясненим високою чутливістю $S_L(q)$ до кластеризації структури ядра;
- отримано значення повної кулонової енергії E_{coul} ядра ${}^7\text{Li}$, що дорівнює $E_{\text{coul}} = (1,928 \pm 0,038 \pm 0,026) \text{ MeV}$. Порівняння знайденого $E_{\text{coul}}({}^7\text{Li})$ з $E_{\text{coul}}({}^6\text{Li})$ свідчить про те, що середньоквадратичний зарядовий радіус ядра ${}^7\text{Li}$ є меншим за радіус ${}^6\text{Li}$, що узгоджується з раніше спостережуваним в експерименті з пружного розсіяння електронів на ${}^7\text{Li}$ та ${}^6\text{Li}$ відношенням середньоквадратичних радіусів цих ядер, яке дорівнює $0,948 \pm 0,008$.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження.

1) На основі експериментальних даних перерізів отримано розрахункові значення $R_L(q_c, \omega)$ та $S_L(q)$ ядра ${}^7\text{Li}$, що можуть бути використаними для тестування сучасних моделей сильної взаємодії в ядрі.

2) Величина кулонової енергії E_{coul} ядра ${}^7\text{Li}$ спільно з такими ж даними для ${}^4\text{He}$ і ${}^6\text{Li}$ може бути використаною на більш глибокому рівні у дослідженнях кластеризації інших ядер.

Повнота викладу в опублікованих працях положень, висновків, рекомендацій. За темою дисертації опубліковано 8 наукових робіт, в тому числі 4 статті, що входять до міжнародної бази даних SCOPUS. Всі результати пройшли апробацію на 7 наукових конференцій.

Загальна характеристика структури та змісту роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів основного тексту, висновків, списку цитованих джерел, а також додатків А та Б.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, розглянуто новизну здобутих результатів, сформульовано мету та задачі дослідження, зв'язок роботи з науковими планами та програмами, обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків, обговорено особистий внесок здобувача, а також подано інформацію про апробацію основних результатів роботи.

У **першому розділі** наведено основні терміни та формули, що використовуються в дисертаційній роботі, а також розглянуто питання врахування зміни енергії взаємодіючого з ядром електрона під впливом електростатичного поля ядра. Представлено основні відомості про використані мішені ${}^6,{}^7\text{Li}$, ${}^{12}\text{C}$ та експериментальне обладнання (лінійний прискорювач ЛПЕ-300, спектрометр електронів СП-95, 8-ми каналний сцинтиляційно-черенковський лічильник електронів), на якому було накопичено первинні дані з інклюзивного розсіяння електронів ядрами, що подані у **другому розділі**.

Третій розділ дисертації присвячено доволі детальному опису всіх етапів обробки первинних даних, що мають бути проведеними для отримання експериментальних значень поздовжньої функції відгуку $R_L(q, \omega)$ та кулонової суми $S_L(q)$ ядра ${}^7\text{Li}$. Авторка ретельно проаналізувала всі компоненти фону (фон випадкових збігів, фізичний фон, фон електронів з фотонародження e^+ , e^- -пар у речовині мішені) та способи їхнього врахування. Було оцінено вплив домішки ізоотопу ${}^6\text{Li}$ у речовині мішені, описано процедуру радіаційно-іонізаційного корегування спектрів розсіяних електронів, розглянуто питання абсолютизації результатів вимірювань за даними з пружного розсіяння електронів на ядрах ${}^{12}\text{C}$.

У цьому розділі також представлено процедуру виділення з кутових функцій відгуку значень поздовжньої функції відгуку $R_L(q, \omega)$ при постійних переданих імпульсах q , досліджено поведінку функцій відгуку при великих переданих енергіях, представлено здобуті значення $R_L(q, \omega)$ та $S_L(q)$ досліджуваного ядра.

У **четвертому розділі**, використовуючи отримані значення кулонової суми $S_L(q)$ ядра ${}^7\text{Li}$ та відомі раніше дані для ядер ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{40}\text{Ca}$, ${}^{48}\text{Ca}$, ${}^{56}\text{Fe}$, авторкою показано, що поведінка величини $S_L(q)$, як функції переданого імпульсу, корелює зі ступенем кластеризації ядра.

Крім того, в цьому розділі проведено порівняння теоретичних розрахунків, виконаних на основі кластерної моделі ядра ${}^7\text{Li}$, зі здобутими експериментальними значеннями кулонової суми, і продемонстровано якісне узгодження теоретичних передбачень та експериментальних даних. Також, використовуючи отримані значення $S_L(q)$ у широкому діапазоні переданих імпульсів, з прийнятними похибками розраховано кулонову енергію E_{coul} та її складові. Проведений аналіз цих значень у сукупності з такими ж даними для ${}^4\text{He}$ вказує на те, що ефективний розмір α -кластера ядра ${}^7\text{Li}$ є більшим за розмір ядра ${}^4\text{He}$. У цілому, у дисертаційній роботі здобуто експериментальні значення поздовжньої функції відгуку $R_L(q, \omega)$ та кулонової суми $S_L(q)$ при

переданих імпульсах q у діапазоні від 0,750 до 1,625 фм⁻¹, проведено оцінки для $S_L(q)$ при $q = 0,55$ та 0,65 фм⁻¹, а також величини кулонової енергії E_{coul} ядра ${}^7\text{Li}$. Усі ці результати отримано вперше і на дуже гарному рівні.

У підсумку, в дисертації було зроблено наступне:

- розроблено алгоритм, що дає змогу істотно скоротити час моделювання процесу фотонародження e^+ , e^- пар у речовині мішені;
- проаналізовано методи радіаційно-іонізаційного корегування спектрів розсіяних електронів та розроблено програмний код для розрахунку радіаційно-іонізаційних поправок;
- проведено ретельний аналіз даних формфактора основного стану ядра ${}^{12}\text{C}$, що вважаються еталонними, і показано, що їх визначено з 3%-ю систематичною похибкою;
- запропоновано методику аналізу тренду поздовжньої функції відгуку при великих переданих енергіях.

Зауваження та дискусійні положення дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота виконана І.С. Тімченко на високому науковому рівні, вона є добре проілюстрованою та гарно оформленою. Автореферат дисертаційної роботи повністю та достовірно відображає зміст дисертації.

За результатами детального розгляду дисертаційної роботи виникли такі зауваження.

1) У роботі є низка граматичних помилок та описок, хоча вони і не спотворюють розуміння змісту дисертації: «...швидкість рахування...» та «...посилки прискорювача...» на стор. 47; «...закриті кружки...відкриті кружки...» на стор. 52; «... вплив домішки ${}^6\text{Li}$ на здобуті перерізи...»; уривок першого речення у підрозділі 3.1.5; «Кулонова енергія ядра тим більша, чим менша середня відстані...». Деякі рисунки мають недостатню якість.

2) При знаходженні кулонової суми ядра ${}^7\text{Li}$ виконувалася екстраполяція поздовжньої функції відгуку на значення великих переданих енергій з використанням степеневої функції. Однак, в роботі не показано,

чому саме така функція має бути використаною, бо для проведення екстраполяції також можливо використовувати і експоненціальну функцію. На мою думку, слід було б отримати експериментальні значення кулонової суми з різними екстраполяційними функціями та провести їх порівняння.

3) Було б корисним навести спектри розсіяних електронів, що їх було використано в роботі при отриманні результатів.

4) Деякі припущення були зробленими без відповідного обґрунтування, зокрема, на стор. 54 щодо товщини мішені та нехтування зменшенням інтенсивності пучка електронів, а також на стор. 58: «Будемо вважати, що здобуте у такий спосіб значення ... визначено з досить гарною для даної задачі точністю.».

5) Твердження щодо можливості неврахування фону для випадку рис. 3.6 а є занадто сміливим та не може бути прийнятим однозначно. Аналогічно з рис. 3.5 – висновок щодо гарного узгодження одних даних з іншими є досить дивним, оскільки ці набори даних можуть розглядатися як взаємно доповненими.

Однак перелічені недоліки не впливають на загально високу оцінку рецензованої дисертаційної роботи.

Висновок щодо відповідності дисертації вимогам ДАК України

Основні фізичні результати, здобуті у дисертаційній роботі І.С. Тімченко, мають важливе фундаментальне та прикладне значення, вони роблять суттєвий внесок у дослідження структури легких атомних ядер. Розроблені підходи обробки даних можуть бути використані при проведенні експериментальних досліджень з розсіяння електронів ядрами. Окремий інтерес представляють здобуті значення поздовжньої функції відгуку $R_L(q, \omega)$ та кулонової суми $S_L(q)$ ядра ${}^7\text{Li}$, оскільки в майбутньому вони можуть бути використаними для тестування різних моделей нуклон-нуклонної взаємодії в ядрах.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота «Кулонова сума та кулонова енергія ядра ${}^7\text{Li}$ » є завершеною роботою, в якій

розроблено методичні підходи до обробки експериментальних даних з розсіяння високоенергетичних електронів ядрами і на цій основі достовірно визначені кулонова сума та кулонова енергія ядра ${}^7\text{Li}$ з експериментальних даних. Зміст роботи повністю відповідає науковій спеціальності 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Вважаю, що за актуальністю обраного напрямку, рівнем визначених завдань, методами їх вирішення, обсягом обробленого експериментального матеріалу, новизною, науковим та практичним значеннями здобутих результатів дисертація повністю відповідає вимогам п.п.9, 11, 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.), які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор Тімченко Ірина Сергіївна заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

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

І.М.Каденко

