Рецензія

на дисертацію Стриженка Сергія Сергійовича «Дослідження та чисельне моделювання джерел світла з квантовими властивостями на основі багаторівневих атомів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Дисертація Стриженка Сергія Сергійовича «Дослідження та чисельне моделювання джерел світла з квантовими властивостями на основі багаторівневих атомів» є ґрунтовною науковою працею високого рівня. Тема роботи — дослідження квантових джерел світла — чітко сформульована в її назві й безумовно відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Така тема є **актуальною** з огляду на нинішній бурхливий розвиток квантових технологій у різних областях науки й техніки: від криптографії до мікроскопії. Також є великі сподівання на квантові обчислення щодо якісного прориву в розв’язанні тих задач, де класичні цифрові технології мають фундаментальні обмеження. Серед відомих нині шляхів реалізації квантових технологій особливо великі очікування покладаються на фотонні технології: швидкі, енергоощадні, масштабовні. Дана робота цілком у цьому тренді.

Дисертаційна робота справляє дуже позитивне враження при прочитанні. У першу чергу вражає акуратність оформлення: гарний шрифт, виділення кольором посилань, гіперпосилання на структурні елементи роботи (розділи, формули, графіки, скорочення, посилання на джерела), якісні яскраві рисунки, чіткі формули, витриманий стиль впродовж усієї роботи. Написання іноземних імен мовою оригіналу поряд з українською транслітерацією, а також наведення англійського відповідника наукових термінів є сучасним хорошим стилем фахових робіт. Уся робота написана гарною українською мовою.

Науковий рівень роботи не поступається якості її оформлення. В роботі описані результати досліджень, отримані автором під час роботи в складі передових наукових груп в Україні й Німеччині. **Новими науковими результатами** роботи є такі:

- створено **чисельну модель** взаємодії багаторівневих атомів з поляризованим когерентним світлом, яка враховує структуру рівнів реальних атомів та подвійне променезаломлення середовища; модель використана для пояснення результатів наступних експериментів;
- теоретично досліджено **джерело одиничних фотонів**, що складається з атома, розташованого в одномодовому резонаторі; з перших принципів виведено теорію взаємодії такого джерела з навколишнім полем;

- експериментально реалізовано **джерело біфотонів** з рекордною спектральною яскравістю на основі чотирихвильової взаємодії в порожнистому оптичному волокні;
- досліджено **явище суперфлуоресценції** на атомах рубідію в порожнистому волокні; вплив неоднорідності середовища враховано через визначення максимального колективного числа атомів; досліджено режим насичення суперфлуоресценції.

Результати роботи **опубліковано** в шістьох наукових працях: двох статтях у високорейтингових фахових періодичних виданнях (Quantum Science and Technology та Physical Review Research), проіндексованих у базах даних Web of Science та Scopus і віднесених до першого квартилю (Q1) згідно класифікації SCImago Journal and Country Rank, а також у чотирьох тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Викладені наукові результати роботи є добре **обґрунтованими**: дисертація містить майже три сотні посилань на використані джерела, перший розділ роботи є детальним оглядом стану і проблем джерел квантового світла, нові результати спираються на попередні досягнення у відповідній області. Поставлені завдання **виконано на високому науковому рівні**, що забезпечується використанням спеціалізованого математичного апарату й глибоким розумінням фізики досліджуваних явищ, що загалом свідчить про **оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності**.

Дисертація є завершеною науковою працею. Отримані результати можуть мати **практичне значення** для квантових обчислень і квантових систем зв’язку. Розроблена чисельна модель може бути застосована для пояснення результатів експериментальних досліджень електромагнітно-індукованої прозорості, зокрема, ефектів «повільного» світла.

Дисертаційна робота **не має ознак порушення академічної доброчесності**, зокрема, плагіату.

Однак є кілька **зауважень** і запитань до дисертаційної роботи.

1. Щодо термінів і граматики. Хоча робота загалом написана грамотно, деякі терміни граматично неправильні: замість «світлоділитель» потрібно вживати «світлоподільник», замість «співпадати» — «збігатись», замість «співпадіння» — «збіг», замість «одиночний» — «одиничний».
2. Деякі терміни, хоча й зустрічаються в літературі, не є загальноприйнятими. Зокрема, в роботі вжито термін «оптична товщина (optical depth)» замість більш часто вживаного «оптична густина (optical density)». Замість «чисельна апертура» прийнято казати «числова апертура».

3. В описі електромагнітно-індукованої прозорості вжито терміни «двофотонний резонанс» (ст. 29), «двофотонна відстройка» (ст. 30). Схоже, тут у слово «двофотонний» вкладено інше значення, ніж це прийнято в нелінійній оптиці. Варто це пояснити, але краще уникати вживання однакових термінів з різним значенням у суміжних областях науки.
4. Термін «поле когерентності» (ст. 32) вартий окремого пояснення.
5. Для чіткості висловлення варто уникати жаргону (хоча він і зрозумілий фахівцям) на кшталт: «Динаміка стоксового поля відбувається **на часах**, набагато **коротших за** середню **швидкість** спонтанного переходу $\langle\Gamma_R\rangle_r = 2\pi \times 45$ **kHz**» (ст. 86).
6. У класифікації квантових джерел світла (ст. 12, ст. 19, ст. 23) однією з ознак джерел другого типу вказано їхню здатність генерувати фотони «у великій кількості за одиницю часу». Варто уточнити, яка саме кількість є великою.
7. В описі ефекту Хенбері-Брауна і Твісса (ст. 21-22) вжито поняття «одночасного» детектування фотонів. Варто пояснити точність «одночасності».
8. Підрозділ 3.1.2 «Натрієві опорні зірки» є цікавим. Схоже, він стосується можливого практичного застосування результатів дисертаційної роботи, однак це не пояснено в тексті роботи.
9. Є неточності у формулах. У формулі (3.17) ліва частина залежна від z, проте права частина — ні. У формулі (3.18) ліва частина — вектор, проте права — скаляр. У формулах (3.19), (3.20) незрозумілі індекси при d та ρ. У формулах (3.21), (3.22) не пояснено $S_{FF'}$.
10. Твердження про «обмеження комплексної алгебри» і «надлишковість, що виникає внаслідок того, що квантові оператори є ермітовими» (ст. 51) варто пояснити детальніше. Також варто пояснити, що автор має на увазі, кажучи про «точність ... обчислень» на ст. 59.
11. В описі тонкої структури атомів рубідію (ст. 63) неправильно вказані значення квантового числа F для $5^2P_{3/2}$: вказано {1, 2, 3, 4}, а має бути {0, 1, 2, 3}. Відповідні рівні неправильно підписані на Рис. 4.3. Напевно, це описки.
12. На ст. 65 перший і другий абзаци практично збігаються. Так само — другий і третій на ст. 73.
13. Цікаво, як саме 12 см волокна (ст. 61) були розташовані в 7 см вакуумної камери (ст. 66)?

14. Чим пояснюється розбіжність у значеннях OD експерименту ($40 \geq OD \geq 80$) і теорії ($OD = 15$) на ст. 71?
15. Якщо Рис. 5.11 показує результати чисельного моделювання, то чим зумовлений шум на графіках?
16. Який фізичний зміст значення показника заломлення $n = 27.735$ на Рис. 6.4?

Вказані зауваження не ставлять під сумнів основні положення наукової новизни роботи, високу наукову якість представлених у ній результатів і їхнє практичне значення. Враховуючи актуальність теми роботи, високий науковий рівень виконаних досліджень, наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, вважаю, що дисертаційна робота «Дослідження та чисельне моделювання джерел світла з квантовими властивостями на основі багаторівневих атомів» **відповідає вимогам** «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 341 від 21.03.2022 та № 502 від 19.05.2023, а її автор Стриженко Сергій Сергійович **заслуговує** на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент:

Дмитрук Андрій Миколайович

старший науковий співробітник,

доктор фізико-математичних наук,

провідний науковий співробітник відділу фотонних процесів

Інституту фізики НАН України

ВІРНО
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
ІФ НАН УКРАЇНИ
В.С.М...

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ * КИЇВ * ІНСТИТУТ ФІЗИКИ Ідентифікаційний код 05417302