

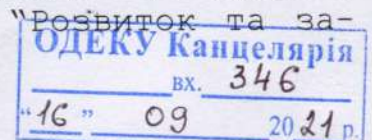
ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Кузнецової Ганни Олександрівни «Теоретична спектроскопія
складних атомних систем в інтенсивному електромагнітному
полі», яка представлена на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук за спец.01.04.05 -
оптика, лазерна фізика.**

Дисертаційна робота Кузнецової Ганни Олександрівни присвя-
тна розв'язанню комплексу дуже актуальних, досить престижних
та складних задач сучасної теоретичної атомної оптики та спе-
ктроскопії, а саме розробці теоретичних основ нової спектрос-
копії складних атомних систем в інтенсивних та надто інтенси-
вних електромагнітних полях, у тому числі, постійному елект-
ричному полі, полі лазерного, теплового випромінювання цих
систем з коректним, послідовним урахуванням релятивістських
та обмінно-кореляційних та інших ефектів.

Актуальність такої тематики дослідження зумовлена багатьма
факторами, пов'язаними як з розвитком нових напрямків у су-
часній оптиці та спектроскопії атомних систем в інтенсивних
та надто інтенсивних електромагнітних полях. Величезний інте-
рес до вивчення характеристик атомів стимулюється потребами
широкого кола прикладних додатків, до числа яких відносяться
додатки сучасної оптики і спектроскопії атомів, багатозаряд-
них іонів, молекул, лазерної фізики та квантової електроніки,
фізики та хімії ультрахолодної плазми, астрофізики, радіоаст-
рономії, астроспектроскопії, фізики, хімії, діагностиці різ-
номанітних плазмових та атмосферних середовищ тощо. Також
слід нагадати й на важливі застосування результатів дослі-
дження атомних систем в інтенсивних та надто інтенсивних еле-
ктромагнітних полях для таких додатків як, наприклад, дослі-
дження бозе-конденсату рідбергівських атомів, у т ч., парів
лужних рідбергівських атомів станах, отримання фонтанів хо-
лодних рідбергівських атомів, побудова атомних (радіаційних)
машин Карно, побудова нових та удосконалення існуючих оптич-
них (атомних) стандартів частоти, атомних годинників, пошук
нових оптичних та спектральних явищ та ефектів на стику тра-
диційної атомної оптики та спектроскопії , фізики рідбергів-
ських атомів, теорії електромагнітного випромінювання тощо. В
світлі сказаного, уявляється очевидним, що обрана дисертантом
Кузнецовою Г.О. тема дисертації є, без сумніву, актуальною
й надто затребуваною.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. У дисер-
тації наведено результати досліджень, виконаних дисертантом
самостійно. Більша частина результатів увійшла до планів та
звітів по науково-дослідним роботам (НДР) Одеського державно-
го екологічного університету та частково проектів фундамента-
льних досліджень МОН України: НДР "Розвиток і застосування
нових методів обчислювальної математики і математичної фізики
в задачах теоретичної квантової оптики і атомної та ядерної
спектроскопії" (№ держр. 0111U005225), НДР "Розвиток та за-



стосування кібернетичних методів до дослідження динаміки ієрархічних хаотичних процесів у квантових, інформаційних системах" (№ держр. 0111U000332), "Розвиток і застосування нових квантово-механічних і КЕД методів в задачах обчислювальної математики та математичної фізики, теорії ядра і частинок, квантовій геометрії" (№ держр. 0109U000348), "Розвиток та застосування нових обчислювальних методів в задачах математичної фізики, теорії ядра та адронних атомів, квантової геометрії" (№ держр. 0114U005145), "Розвиток та застосування нових методів обчислювальної математики, математичної фізики в задачах теоретичної квантової оптики, атомної, молекулярної спектроскопії", № держр. 0116U002097), а також ряду проектів фундаментальних досліджень МОН України: "Прогнозування стану і безпеки навколишнього середовища з урахуванням антропогенного, радіоактивного забруднення, радіаційно-екологічних наслідків аварій на АЕС: Нові моделі і технології" (№ держр. 0115U000632) та інші.

Основний зміст дисертації. Представлена дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків і переліку використаних джерел, а також анотацій українською та англійською мовами.

У **вступі** обґрунтовано актуальність, чітко сформульовано мету, завдання досліджень, які було виконано. Акцентовано увагу на науковій новизні роботи.

Перший розділ є цілком оглядовим, в ньому надано детальний і ґрунтовний аналіз теоретичних методів розрахунку енергетичних, радіаційних, спектроскопічних характеристик багатоелектронних атомних систем у зовнішніх електромагнітних полях. Показано, що існуючі найбільш послідовні методи урахування обмінно-кореляційних ефектів в деяких задачах теорії атомів не дозволяють отримати спектральну інформацію із необхідною точністю.

Другий розділ є найбільш важливим розділом дисертації, який містить низку принципово нових методів, зокрема, розвиваються нова релятивістська версія методу операторної теорії збурень та узагальнений формалізм багаточастинкової релятивістської теорії збурень з *ab initio* нульовим локальним наближенням Дірака-Фока-Слетеру. Комбінація перелічених двох методів у сукупності лежить в основі принципово нового кооперативного підходу до визначення енергетичних, радіаційних, спектроскопічних характеристик багатоелектронних атомних систем, енергій та ширин штарківських резонансів, радіаційних амплітуд, ймовірностей іонізації та інших характеристик.

Третій розділ містить як тестові, так й вперше отримані із спектроскопічною точністю нові дані по спектроскопії атомів у зовнішніх електромагнітних полях. Дисертантка застосовує новий комбінований метод релятивістської операторної теорії збурень і формалізм багаточастинкової релятивістської теорії збурень з *ab initio* нульовим локальним дірак-фок-

слетеровським наближенням для визначення енергій та ширин резонансів Штарку, енергій іонізації, ймовірностей і сил осциляторів радіаційних переходів, атомних поляризуемостей та інших характеристик для досить широкого кола атомів, зокрема, атомів лужних елементів Li, Na, K, Rb, атомів лантанідів Gd, Tm, Yb, атомів інертних газів Ar, Kr, Xe та інших систем.

Четвертий розділ дисертації присвячений розробці нового підходу до визначення енергетичних та спектроскопічних характеристик атомів в інтенсивному зовнішньому електромагнітному полі, в основі якого лежить раніше розвинутий апарат релятивістської операторної теорії збурень, методи квазістаціонарних, квазіенергетичних станів і комплексного обертання координат, а також новий формалізм багаточастинкової релятивістської теорії збурень з дірак-фок-слетеровським нульовим наближенням. На основі нового підходу дисертантка отримує нові дані для основних енергетичних та радіаційних характеристик групи лужних атомів, а також атому туллію у зовнішньому мікрохвильовому електромагнітному полі.

П'ятий розділ дисертації містить новий суттєво релятивістський метод визначення енергетичних, радіаційних, поляризаційних характеристик атомних систем у полі теплового (black-body radiation) випромінювання, який базується на релятивістській версії відомого в квантовій електродинаміці енергетичного формалізму Гелл-Мана та Лоу і раніше розвинутому дисертанткою новому, узагальненому формалізмі багаточастинкової релятивістської теорії збурень з ab initio нульовим локальним наближенням Дірака-Фока-Слетеру. Також розділ містить цілу низку дуже важливих для багаточисленних застосувань даних для енергетичних, радіаційних характеристик конкретних атомних систем (лужних атомів) у полі теплового (black-body radiation, BBR) випромінювання, у тому числі, величин ефективного часу життя, швидкості BBR-іонізації для окремих рідбергівських nS , nP , nD станів Na, Rb, Cs в широкому інтервалі температур (до 600 K) і значень головного квантового числа до 80). Роботу завершують розділи з основними висновками та списком літературних джерел.

Наукова новизна одержаних результатів. Всі результати, які виносяться на захист, є новими і базуються на своєчасно опублікованих дисертантом наукових працях в провідних світових і вітчизняних фахових виданнях. Треба відзначити, що дисертантом дисертації отримано цілий ряд принципово нових результатів і наукових положень, чітко сформульованих у висновках. Головними, найбільш пріоритетними результатами є такі:

- 1). Вперше розроблено новий релятивістський метод операторної теорії збурень та узагальнений формалізм багаточастинкової релятивістської теорії збурень з ab initio нульовим локальним наближенням Дірака-Фока-Слетеру до визначення енергетичних, радіаційних, спектроскопічних характеристик багатоелектронних атомних систем, енергій, ширин штарківських резо-

нансів, радіаційних амплітуд, ймовірностей іонізації та інших;

2). Вперше на основі нового комбінованого методу релятивістської операторної теорії збурень та методу багаточастинкової релятивістської теорії збурень з *ab initio* нульовим локальним наближенням Дірака-Фока-Слетеру виконані прецизійні розрахунки енергій та ширин резонансів Штарку, енергій іонізації, ймовірностей та сил осциляторів радіаційних переходів, атомних поляризуемостей та інших характеристик для досить широкого кола атомів, зокрема, атомів лужних елементів Li, Na, K, Rb, атомів лантанідів Gd, Tm, Yb, атомів інертних газів Ar, Kr, Xe та інших систем, причому значна частина спектроскопічних даних із високою точністю отримана вперше.

3). Розвинуто новий підхід до визначення енергетичних та спектроскопічних характеристик атомів в інтенсивному зовнішньому електромагнітному полі, в основі якого лежить раніше розвинутий апарат релятивістської операторної теорії збурень, методи квазістаціонарних, квазіенергетичних станів і комплексного обертання координат, а також новий формалізм багаточастинкової релятивістської теорії збурень з дірак-фок-слетеровським нульовим наближенням, і вперше виконані прецизійні розрахунки енергетичних та радіаційних характеристик групи лужних атомів, а також атому туллію в зовнішньому мікрохвильовому електромагнітному полі.

4). Розвинуто новий підхід до визначення енергетичних характеристик атомних систем в полі теплового (black-body radiation) випромінювання, який базується на релятивістській версії відомого в квантовій електродинаміці енергетичного формалізму Гелл-Мана та Лоу і новому, узагальненому формалізму багаточастинкової релятивістської теорії збурень з *ab initio* нульовим локальним наближенням Дірака-Фока-Слетеру; вперше наведені дані для енергетичних, радіаційних характеристик лужних атомів у полі теплового, BBR випромінювання із спектроскопічною точністю, у т.ч., величин ефективного часу життя, швидкості BBR-іонізації для окремих рідбергівських nS , nP , nD станів в широкому інтервалі температур та атомних станів.

Ступень обґрунтованості наукових результатів, висновків та їх достовірності. Всі наукові результати та положення, які містяться в дисертаційній роботі, достатньо науково обґрунтовані, а отримані висновки є достовірними. Обґрунтованість досліджень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, підтверджується виконанням досліджень із застосуванням відомих теоретичних та числових методів, коректним припущенням та постановкою завдань, добрим збігом теоретичних і наявних експериментальних даних по декотрим енергетичним, радіаційним та спектроскопічним характеристикам, зокрема, атомів лужних атомів, інертних газів, опублікуванням результатів роботи у високо рейтингових фахових виданнях та їх обговоренням на престижних міжнародних наукових конференціях.

Практичне значення отриманих результатів полягає, насамперед, у тому, що одержані в роботі нові дані по енергетичним, радіаційним та спектроскопічним характеристикам атомів

в зовнішніх електромагнітних полях можуть бути корисними при застосуванні у різноманітних додатках в атомній, лазерній, молекулярній спектроскопії, квантовій оптиці та електроніці, спектроскопії плазми, фізиці іон-атом-атомних зіткнень, в діагностиці різноманітних плазмових та атмосферних середовищ, де саме спектроскопічні методи залишаються найбільш надійними методами діагностики таких середовищ. Також, слід нагадати й про нові перспективні можливості подальшого розвитку нових підходів у створенні та передбаченні енергетичних, поляризаційних характеристик нових гібридних фотон-атомних систем, побудові нових квантових (атомних) стандартів частоти, атомних годинників, унікальні потенційні застосування досліджених систем в квантовій криптографії, взагалі можливості реалізації нових оптичних та спектральних явищ на стику атомної оптики та спектроскопії і фізики рідбергівських систем і електромагнітних полів тощо.

Зауваження до дисертації. До зауважень, які мають виключно частковий, редакційний характер, і ні в якій мірі не стосуються основних результатів, положень та висновків безумовно нової роботи можна віднести таке:

1. У вступі та першому оглядовому розділі дисертантка надає дуже високо професійний огляд основних квантово-механічних методів розрахунку атомних систем в інтенсивному DC електричному полі, AC електромагнітному полі, а також полі теплового VBR випромінювання, аналізує їх ключові наближення та недоліки, дає характеристику принципово новим класам задач в сучасній атомній оптиці та спектроскопії, зокрема, пов'язаних із незвичайною спектроскопією рідбергівських систем. На мій погляд, дисертантці доречно було б більш докладно зупинитися на експериментальних та теоретичних аспектах самі спектроскопії останніх, особливо з точки зору потреб сучасних технологій типу стандартів частоти, атомних годинників.

2. В розділі 2 дисертант розвиває нову версію релятивістської операторної теорії збурень. Вводиться функція $g_2(t)$, яка задовольняє неоднорідному диференціальному рівнянню з унікальною правою частиною. Далі записується загальна система рівнянь, що визначає функцію розсіювання. Здається, тут було б доречно більш докладно пояснити введення функції $g_2(t)$. З токи зору сучасної квантової теорії розсіювання та зіткнень це дуже оригінальний, принципово новий момент теорії.

3. В розділі 2 важливий технічний аспект визначення ймовірності автоіонізаційного розпаду пов'язаний із обчисленням матричних елементів типу $Re Q_\lambda(1243)$, які відрізняються від уявних матричних елементів тільки визначенням радіальних інтегралів. Здається, тут було б доречно більш докладно пояснити структуру інтегралів, і яке вони мають відношення до відомого в квантовій теорії випромінювання мультипольного розкладання.

4. В розділі 3 наведені дані розрахунку енергій, ширин штарківських резонансів в атомі літію, зокрема проводиться порівняння даних дисертантки і даних методу комплексного потенціалу, методу комплексних координат... Здається, тут було б доречно більш докладно пояснити основний зміст останніх.

5. В розділі 3 (напр., таблиця 3.12) наведені дуже унікальні дані для величини ширин автоіонізаційних станів Γ для рідкоземельного атому ітербію $\text{Yb } 4f^{13} [^2F_{7/2}]6s^2np[5/2]_2, 4f^{13} [^2F_{7/2}] 6s^2nf[5/2]_2$, які змішуються з резонансами $4f^{13}[^2F_{7/2}]6s^2nd$ для різних значень величини напруженості електричного поля. Здається, тут дисертантці доречно було б більш докладно зупинитися на мотивації вибору саме вказаних автоіонізаційних резонансних станів, і більш докладно пояснити деякі аспекти, насправді, зробленого нею (очевидно, з її консультантом) справжнього відкриття у спектроскопії важких елементів.

6. В розділі 5 (напр., табл.5.2) наведені дані розрахунку ефективного часу життя рідбергівських станів $17p, 18p$ ($T=300K$) в атомі Na , зокрема, модельні оцінки Gounand (Th1) та Gallakher-Cooke (Th2). Дисертантці доречно було б більш докладно зупинитися на різниці обох перелічених моделей.

7. Редакційні або стилістичні недоліки. На мій погляд, деякі спектроскопічні дані в роботі варто було б представляти скоріше у графічній формі, ніж табличній. Деякі параметри визначені декілька разів.

Загальний висновок: Дисертаційна робота Кузнецової Г.О. є завершеною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати. В дисертації розв'язано важливу проблему сучасної оптики та спектроскопії атомів: розробку теоретичних основ нової релятивістської спектроскопії та нелінійної динаміки атомних систем в інтенсивному DC електричному полі, AC електромагнітному полі, а також полі теплового VBR випромінювання з використанням нового методу релятивістської операторної теорії збурень та нового методу багаточастинкової релятивістської теорії збурень з ab initio нульовим локальним наближенням Дірака-Фока-Слетеру. Розвинені в даній роботі вперше в теоретичній атомній оптиці та спектроскопії принципово нові підходи і отримані на їх основі в переважній більшості із спектроскопічною точністю вперше оригінальні наукові результати в сукупності закладають основи нового наукового напрямку в сучасній теоретичній оптиці і спектроскопії релятивістських атомних систем.

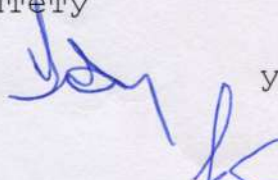
Автореферат дисертації відповідає змісту роботи й повністю відображає всі результати, положення й висновки, що виносяться на захист.

Можна констатувати, що з точки зору актуальності, наукової новизни, теоретичної та практичної значущості, дисертаційна робота Кузнецової Г.О. «Теоретична спектроскопія складних атомних систем в інтенсивному електромагнітному полі» безумовно відповідає вимогам пунктів 9,10,12-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів від 24.07.2013 р. №567 і наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 щодо оформлення дисертацій, а самому дисертантці, Кузнецовій Ганні Олександрівні безумовно може бути присуджений науковий ступінь доктора фізико-математичних наук за спец.01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Використання результатів роботи. Одержані в роботі нові наукові результати по енергетичним, радіаційним та спектроскопічним властивостям досліджених квантових систем можуть бути рекомендовані до використання у навчальній, науковій та науково-технічній діяльності провідних вітчизняних університетів та НДІ Міністерства освіти і науки України, Національної Академії наук України, а також науково-технічних установ, які спеціалізуються в оптиці і спектроскопії атомних та молекулярних систем і т.і.

Офіційний опонент:

професор кафедри технологічної та професійної освіти Південноукраїнського національного педагогічного університету ім. К.Д. Ушинського
доктор фіз.-мат. наук, професор

 Усов В.В.

Підпис проф. Усова Валентина Валентиновича засвідчую:



ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
"ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ К.Д. УШИНСЬКОГО"
від «...» 20...
ПІДПИС ЗАСВІДУЮ
Начальник відділу кадрів

