

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

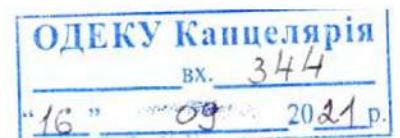
Кузнецової Ганни Олександрівни

«ТЕОРЕТИЧНА СПЕКТРОСКОПІЯ СКЛАДНИХ АТОМНИХ СИСТЕМ
В ІНТЕНСИВНОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ», яка подана на здобуття
наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю
01.04.05 – «Оптика і лазерна фізика»

Актуальність теми. Актуальність теми дисертаційної роботи Кузнецової Г.О., присвяченої розв'язанню групи класів надто актуальних, важливих та природно складних задач сучасної квантової оптики і спектроскопії оптики та лазерної фізики, зокрема, оптики та спектроскопії атомних систем, у тому числі, в рідбергівських станах, у зовнішньому електромагнітному полі повільної інтенсивності можна вважати безумовно високою. Такі актуальні класи задач, як дослідження властивостей унікальних для сучасної квантової оптики і спектроскопії атомних систем, а також взагалі кажучи, мікроскопічних, систем таких як бозе-конденсат рідбергівських атомів лужних елементів, наприклад, калію, рубідію, цезію в криогенних умовах й нові експериментальні результати дозволили встановити та частково відкрити принципово нові властивості рідбергівських атомів як з точки зору сучасної оптики та спектроскопії, так й з точки зору фізики та хімії криогенної плазми. Це ж саме стосується й відносно нового для сучасної квантової оптики і спектроскопії атомних систем класу задач як дослідження властивостей атомних систем у полі чорнотілого (теплого) випромінювання. Цей клас задач має величезне значення для подальшого розвитку як безпосередньо квантової оптики і атомної спектроскопії, так й таких прикладних квантових дисциплін як квантова інформатика, квантова криптографія, квантовий комп'ютинг, квантово-оптичного приладобудування тощо.

Окремого розгляду та оцінки потребує такий напрямок досліджень як фізики (оптика та спектроскопія) рідбергівських атомів взагалі, й цих атомів в інтенсивних зовнішніх електромагнітних полях. Крім безумовно цікавої і багатой теоретичної фізики процесів за їх участю, треба казати й про викликають значний інтерес до них з точки зору потреб таких традиційних наукових та науково-технічних додатків як фізика квантово-генераторних та лазерних систем ВУФ, рентгенівського діапазону спектру, фізики тепло-енергетичних хімічних процесів, плазмо-фізика та плазмо-хімія, фізика та хімія астрофізичної, лабораторної, лазерної а також криогенної плазми. Докладний аналіз показує, що багато задач сучасної спектроскопії рідбергівських атомів, у т.ч., в зовнішніх полях, й зокрема, полі теплового випромінювання, залишаються не достатньо або зовсім невивченими як з теоретичної так й експериментальної точок зору.

Таким чином, можна констатувати безумовно високу актуальність, теоретично та практичну значущість досліджень, результати яких покладені в основу дисертації Кузнецової Г.О.



Зв'язок з науковими програмами, пріоритетними напрямками розвитку техніки. Дослідження, виконані в роботі, увійшли до планів та звітів НДР Одеського державного екологічного університету та Міністерства освіти і науки України: «Розвиток і застосування нових методів обчислювальної математики і математичної фізики в задачах теоретичної квантової оптики і атомної та ядерної спектроскопії» (2011-2015pp.), «Розвиток та застосування нових обчислювальних методів в задачах математичної фізики, теорії ядра та адронних атомів, квантової геометрії» (2014-2018pp.), «Розвиток та застосування нових методів обчислювальної математики, математичної фізики в задачах теоретичної квантової оптики, атомної, молекулярної спектроскопії» (2016-2020pp.), «Розрахунок енергетичних та спектроскопічних властивостей рідбергівських атомів та багатозарядних іонів на основі релятивістської багаточастинкової теорії збурень» (2019–2023), «Розвиток та застосування хаос-геометричних та квантово-динамічних методів дослідження спектрів і динаміки лазерних систем та приладів надвисокочастотної електроніки» (2019–2023), а також 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» (2015-2017pp.), «Комплекс нових стохастично-гідродинамічних та атомно-діагностичних моделей моніторингу антропогенного забруднення атмосфери промислових міст» (2017-2019pp.) .

Зміст дисертації.

Дисертація Кузнєцової Г.О. складається з вступу, п'яти розділів, висновків і список використаних літературних джерел. У 1-му розділі дисертації здобувач дає відповідний ретельний огляд та аналізує основні методи розрахунку властивостей атомів в зовнішніх електричному, електромагнітному полях, а також конкретно полях лазерного та теплового (чорнотілого) випромінювання із визначенням їх основних переваг та недоліків з точки зору повноти урахування фотон-кореляційних, обмінно-кореляційних, релятивістських ефектів. У 2-му розділі здобувач викладає розроблений в дисертації новий послідовний квантово-механічний підхід до опису енергетичних властивостей важких атомів в зовнішніх електричному, електромагнітному полях. Головними складовими нового підходу є новий метод релятивістській операторної теорії збурень і новий метод багаточастинкової релятивістської теорії збурень з *ab initio* нульовим локальним дірак-фоківським наближенням. Принципова новизна цього розділу пов'язана як з розробкою принципово нових методів урахування складних релятивістських та обмінно-кореляційних поправок, станів континууму безпосередньо в амплітудах радіаційних та автоіонізаційних розпадів, шириних штарківських резонансів, запровадженням в теорію нових коректних процедур урахування перелічених ефектів, а також принципово нового релятивістського методу обчислення властивостей штарківських резонансів.

У 3-му розділі дисертації на підставі нових підходів одержані, у багатьох випадків вперше із спектроскопічною точністю, дані по енергетичним, радіаційно-автоіонізаційним властивостям, енергіям та ширинам штарківських резонансів, атомним поляризуємостям для широкого кола станів у спектрах таких багатоелектронних та суттєво релятивістських систем як атоми лужних елементів, інертних газів, а також атоми рідкоземельних елементів. Також наведені принципово нові результати щодо відкриття феномену гігантського збільшення ширин автоіонізаційних резонансів у досить слабкому електричному полі. Ці результати мають величезне теоретичне та практичне значення та дуже добре стикуються з відомими піонерських роботами всесвітньо відомого, видатного фахівця з оптики та лазерної фізики В.С. Летохова, до речі, з яким певний час співпрацював і науковий консультант роботи. Крім того, на основі даних для штарківських резонансів в рідбергівських атомах лужних елементів повно виявлений ефект скейлінгу в залежностях наведених енергій і ширин як підпорогових, так і біля порогових резонансів від наведеної напруженості електричного поля. У 4-му розділі здобувач викладає розроблений в дисертації новий послідовний квантово-механічний підхід до опису енергетичних властивостей важких атомів у зовнішньому електромагнітному полі (АС ефект Штарка) довільної сили, складовими якого є новий метод релятивістської операторної теорії збурень, метод квазістаціонарних, квазіенергетичних станів, метод комплексного обертання координат, новий метод багаточастинкової релятивістської теорії збурень з оптимізованим *ab initio* нульовим локальним наближенням типу Дірака-Фока. Дуже вражаючими в цьому розділі є принципово нові результати щодо нерегулярної і досить складної динаміки іонізації атомів Li, Rb, Tm в рідбергівських станах (Li: $n > 40$; Rb: $n > 50$; Tm: $n > 60$) в мікрохвильовому полі з параметрами: амплітуда поля $F = (1.2-3.2) \cdot 10^{-9}$ ат.ед, частота 8.87, 15, 36 ГГц). У 5-му розділі здобувач викладає розроблений в дисертації новий послідовний квантово-механічний підхід до опису енергетичних властивостей важких атомів в полі теплового (чорнотільного) випромінювання, складовими якого є узагальнений релятивістський енергетичний формалізм з використанням формули Гелл-Мана та Лоу і новий метод багаточастинкової релятивістської теорії збурень з оптимізованим *ab initio* нульовим локальним наближенням типу Дірака-Фока. Дуже цікавими і надто важливими для прикладних додатків є результати щодо енергетичних та радіаційних властивостей, швидкостей іонізацій лужних атомів в полі теплового (чорнотільного) випромінювання. У заключному розділі автор формулює основні висновки дисертації.

Наукова новизна положень, результатів та висновків роботи, насамперед, принципово обумовлена розвитком нового напрямку у сучасній теоретичній оптиці і спектроскопії атомів, зокрема, релятивістської оптики і спектроскопії суттєво багатоелектронних атомних систем в інтенсивних DC електричному полі, AC електромагнітному (у т.ч, лазерному) полі, а також полі теплового (чорнотільного) випромінювання.

Здобувачем вперше розвинуті теоретичні основи нового релятивістського підходу до обчислення енергетичних, радіаційних, спектроскопічних властивостей (у т.ч., енергій рівнів, амплітуд радіаційних та автоіонізаційних розпадів, енергій та ширин штарківських резонансів, сил осциляторів, атомних поляризуємостей, швидкостей іонізації ефективних часів життя тощо) для суттєво багатоелектронних атомних систем в інтенсивних DC електричному полі, AC електромагнітному (в т.ч., лазерному) полі, а також полі теплового (чорнотільного) випромінювання в широкому інтервалі параметрів атомів і зовнішніх полів (амплітуда, частота), складовими яких є новий метод релятивістської операторної теорії збурень і новий метод багаточастинкової релятивістської теорії збурень з оптимізованим нульовим локальним наближенням типу Дірака-Фока

Вперше для переважної більшості станів та систем із спектроскопічною точністю виконані обчислення енергій рівнів, амплітуд радіаційних та автоіонізаційних розпадів, енергій та ширин штарківських резонансів, сил осциляторів, поляризуємостей, швидкостей іонізації, ефективних часів життя тощо для таких багатоелектронних та суттєво релятивістських систем як атоми лужних елементів, інертних газів, а також атоми рідкоземельних елементів в інтенсивних DC електричному полі, AC електромагнітному (лазерному) полі, а також полі теплового (чорнотільного) випромінювання

Здобувачем вперше в рамках нової послідовної, суттєво релятивістської теорії із спектроскопічною точністю представлені принципово нові результати щодо відкриття феномену гігантського збільшення ширин автоіонізаційних резонансів у досить слабкому електричному полі (цілком можна стверджувати про відкриття нового нелінійно-оптичного явища в сучасній спектроскопії), а також наведені дані докладної перевірки ефекту скейлінгу в залежностях наведених енергій і ширин як підпорогових, так і біля порогових штарківських резонансів від наведеної напруженості електричного поля для групи всіх лужних атомів, а також атому водню.

Ступінь обґрунтованості наукових результатів, висновків та їх достовірність. Обґрунтованість наукових результатів, висновків дисертації та їх достовірність забезпечуються добрим узгодженням теоретичних даних, отриманих на підставі нових послідовних методів, та експериментальних даних по енергіям, радіаційним та автоіонізаційним властивостям деяких тестових (тобто добре експериментально досліджених) станів атомів лужних елементів, атомів інертних газів. Також важливим фактором, що обумовлює достовірність результатів, є застосування найбільш сучасних, послідовних і ефективних методів квантової електродинаміки, релятивістської квантової теорії поля, атомної спектроскопії, та авжеж нових коректних методів, розвинутих безпосередньо здобувачем.

Практичне значення. Нові наукові результати, що одержані у дисертації, можуть бути практично використані у розв'язанні багатьох задач у галузях квантової оптики, атомної, ядерної, молекулярної спектроскопії, астрофізики, астроспектроскопії, лазерної фізики, квантової електроніки,

плазмохімії, фізики електронних, фотонних та атомних зіткнень, фізики іонізованих газів та інших галузях. У тому числі, вони будуть корисними у розробці та побудові нових ефективних лазерних систем короткохвильового діапазону, нових типів лазерних систем без безпосередньо інверсії з використанням феномену силової автоіонізації та створенні нових методів ефективної діагностики астрофізичної, лабораторної, термоядерної, лазерної, а також кріогенної (ультрахолодної) плазми. Крім того нові методи та результати очевидно дозволять з принципово нових висот розглянути такі актуальні комплекси проблем сучасної атомної фізики як дослідження унікальних властивостей бозе конденсату ультра холодних рідбергівських атомів, термодинаміки нового стану речовини (рідбергівської матерії), побудова радіаційних машин Карно, розвиток нових методів в квантовій криптографії і інформатиці і багато інших.

Зауваження до дисертації. Як зауваження слід відзначити таке:

- 1). Здобувач представляє нову релятивістську теорію властивостей суттєво багатоелектронних атомів у зовнішніх полях і застосовує її для визначення енергій та радіаційних властивостей низки важливих з прикладної точки зору атомів. Проведено порівняння одержаних даних з відповідними експериментальними даними, причому на відповідні експерименти надані точні посилання, але автор, на мій погляд, недостатньо повно коментує зміст, а також труднощі експериментів, особливо, напр., з бозе-конденсатом ультрахолодних лужних атомів.
- 2) Загальне зауваження щодо об'єктів дослідження. Цікаво заслухати думку здобувача стосовно вибору тих чи інших атомних систем
- 3). Здобувач представляє свої нові теорії, фактично зорієнтовані на вивчення властивостей суттєво релятивістських та багатоелектронних атомів у зовнішніх полях і апробує їх на визначенні широкого кола різноманітних енергетичних, радіаційних властивостей досить складних систем. Виникає ряд запитань, пов'язаних з більш чітким виділенням додаткових меж застосування нових теорій. Напр., чи можуть вони бути узагальнені на випадок, скажемо молекулярних або ядерних систем.
- 4). У 2-му розділі декотрі технічні аспекти апарату багаточастинкової релятивістської теорії збурень з оптимізованим нульовим локальним наближенням викладені більш ніж компактно, напр., вплив вибору калібровки фотонного пропатору на амплітуди радіаційних переходів та радіаційні ширини; це особливо важливо, оскільки в 6 -розділі мова йде вже про визначення швидкостей іонізації атомів в полі теплового випромінювання, а також значення ефективного часу життя. Крім того, аспект виконання калібрувальної інваріантності здобувачем піднятий вперше в атомній спектроскопії у зовнішніх полях. Це елемент новизни.
- 5). Здобувачем в 6-му розділі представлені дуже цікаві дані по властивостях атомів в полі теплового випромінювання для різних температур та інтервалів квантових чисел. Цікаво заслухати думку здобувача стосовно мотивації вибору наборів параметрів системи «атом+поле теплового випромінювання», зокрема., температурного інтервалу.

б). Перелік редакційних, стилістичних, методичних зауважень включає декілька пунктів, зокрема, слід відзначити значну перевантаженість роботи аббревіатурами; у декотрих формулах застосовується атомна система одиниць, в інших - кулонівська, і далі, присутня й релятивістська система. При цьому необхідні коментарі додаються далеко не завжди.

Слід зазначити, що робота Кузнецової Г.О. вражає безумовною новизною і оригінальністю і тому вище представлені зауваження мають виключно частковий характер і ні в якій мірі не зачіпають основні результати цього дуже кваліфікованого і нового оптичного дослідження

Використання результатів дисертації Отримані в дисертації нові наукові результати можуть бути з великою користю застосовані у наукових та науково-прикладних розробках інститутів і вищих освітніх закладів системи Міністерства освіти і науки України та Національної академії наук України, які спеціалізуються у галузях атомної оптики та спектроскопії, астрофізики, лазерної фізики та інших галузях (напр., Інститут фізики НАН України, Інститут електроніки НАН України, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Одеський національний університет ім. І.І.Мечникова, Харківський національний університет ім.і В. Карабіна, Львівський національний університет ім. І. Франка та багато інших).

Висновок: З точки зору мети, наукової новизни, теоретичного та практичного значення дисертаційна робота Кузнецової Г.О. має вважатися завершеною новою науковою роботою, яка є безпрецедентно вагомим внеском в сучасну спектроскопію релятивістських атомних систем в інтенсивних зовнішніх електромагнітних полях. В ній наведені принципово нові результати, які в сукупності складають основу нового наукового напрямку в сучасній атомній оптиці та спектроскопії, а саме, *релятивістської високоенергетичної теоретичної оптики та спектроскопії суттєво багатоелектронних атомів у зовнішніх інтенсивних полях електромагнітного (лазерного, теплового чорнотільного) випромінювання, DC електричного поля з одночасним урахуванням релятивістських, поляризаційних, сильно польових ефектів, ефектів нелінійної некулонівської фізики рідбергівських спектрів* тощо. Основні положення роботи Кузнецової Г.О. повно відображені у циклі наукових статей та монографії у загально відомих, як правило, міжнародних виданнях (напр., Springer, IOP, InTech) з досить високим імпаکت-фактором (Scopus Web of Science) та фахових наукових журналах, визнаних МОН України. Крім того, основні результати апробовані на досить значній кількості престижних міжнародних конференцій, шкіл, конгресів. Зміст автореферату повністю відображає основні положення роботи.

Я вважаю, що дисертація Кузнецової Ганни Олександрівни «Теоретична спектроскопія складних атомних систем в інтенсивному електромагнітному полі» безумовно задовольняє всім вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фіз-мат наук пп.9,10,12-14

«Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів від 24.07.2013 р. №567, а автору без сумніву може бути присуджений науковий ступень доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика та лазерна фізика (104- Фізика та астрономія).

Офіційний опонент:
професор кафедри загальної
фізики та фізики теплоенергетичних і
хімічних процесів Одеського
національного університету
ім. І.І. Мечникова
доктор фізико-математичних наук,
професор

Шевчук В.Г.

Підпис професора Шевчука Володимира Гавриловича засвідчую:

Вчений секретар ОНУ ім. І.І. Мечникова



Курандо С.В.