

## Становище

относно дисертационния труд на **Явор Янков Бораджиев**  
на тема „Кохерентен контрол на адиабатна и неадиабатна еволюция на прости квантови системи“  
за получаване на образователната и научна степен „доктор“  
по професионално направление 4.1 Физически науки (Физика на атомите и молекулите)

от **проф. дфзн Николай Витанов Витанов**  
СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет  
член на научното жури и научен ръководител на докторанта

Представеният дисертационен труд представлява изследване на някои свойства на кохерентното атомно възбуждане в системи с две, три и повече нива. Особено внимание е отделено на някои стандартни парадигми в кохерентното атомно възбуждане. Дисертантът показва, че тези добре известни парадигми са приложими само при определени условия, а в други ситуации те са напълно неадекватни. Макар че работата е теоретична, дисертантът предлага конкретни експериментални приложения на резултатите си, които са от потенциален интерес за квантовата информатика.

Първата такава парадигма е разширяването на спектралните линии при увеличаването на интензивността на лазерното поле, което индуцира преход от основно към възбудено състояние в система с две състояния. Интензивността на последващата флуоресценция, начертана като функция на разликата  $\Delta$  (детюнинг) между честотата на възбуждащото поле и атомната честота на прехода, представлява спектралната линия. За поле с постоянна интензивност и едnofотонен преход ширината на тази линия е пропорционална на квадратния корен от интензивността на полето, т.е. ширината на линията е пропорционална на честотата на Раби  $\Omega$  (която е пропорционална на електричното поле  $E$ ). Това важи за постоянно поле, както и за импулси с правоъгълна форма. Това разширение е азбучна истина в спектроскопията. Преди десетина години беше показано теоретично и експериментално, че при импулсно поле с Гаусова или друга експоненциална форма (напр. хиперболичен секанс), ширината на спектралната линия зависи много слабо от  $E$ . Сега в дисертацията е показано теоретично, че нещо повече, за импулси с Лоренцова форма, ширината на спектралната линия *намалява* с увеличаването на  $E$ ! Това крайно изненадващо свойство има много просто теоретично обяснение базирано на условието за адиабатна еволюция, но може да има важни приложения в квантовата оптика за повишаването на селективността на възбуждането.

Тази тематика е продължена във втора работа, която изследва свойствата на спектралните линии при кохерентно възбуждане с импулси с крайна продължителност. Такива импулси се описват с функции на времето, които неизбежно са неаналитични. Тази неаналитичност позволява да се оцени вероятността за преход по прост, но ефикасен начин в подходящ суперадиабатен базис. Такива импулси са от особен интерес за квантовата информатика, поради необходимостта от добре дефинирана продължителност на взаимодействието. Там се използват почти винаги импулси с правоъгълна форма, които, както споменах по-горе, страдат от линейно разширение на спектралната линия. Това разширение ограничава максималната интензивност на полето, за да не бъдат възбудени нежелани преходи поради това, че в един ансамбъл от  $n$  кубити има голям брой ( $2^n$ ) състояния. В дисертацията е показано, че импулси със синусоидална форма (с продължителност един полу-период) имат няколко пъти по-малко разширение на линията, което позволява използването на полета с по-голяма интензивност и следователно по-малка продължителност. Това би ускорило квантовия процесор няколко пъти.

Следващата парадигма е свързана с добре известната техника на стимулиран Раманов адиабатен пренос на заселеност (СТИРАП). Това е процес, който пренася адиабатно заселеността в система с три

нива 1-2-3 от състояние 1 в състояние 3, без междинното състояние 2 да се засели изобщо по време на преноса. Понеже обикновено състояния 1 и 3 са дългоживущи (основни или метастабилни), а 2 е бързоразпадащо се (възбудено), СТИРАП работи дори при времеви скали, които са 100 пъти по-дълги от времето на живот на състояние 2, което обуславя голямата популярност на тази техника. СТИРАП изисква състояния 1 и 3 да са в двуфотонен резонанс, като състояние 2 може да не е в резонанс; тогава едно от собствениете състояния на хамилтониана е т. нар. тъмно състояние, което пренася заселеността от 1 в 3. Условието за двуфотонен резонанс и условията за адиабатна еволюция и контраинтуитивна последователност на импулсите (Стоксовият импулс на прехода 2-3 се прилага преди напмпващия импулс на прехода 1-2, макар че двата се застъпват частично) са парадигми в теорията на СТИРАП и обикновено не се подлагат на съмнение. Дисертантът показва, че когато интензивностите на двата импулса се различават значително, двуфотонната спектрална линия се измества от двуфотонния резонанс, т.е. оптималните условия за СТИРАП изискват в тези случаи двуфотонен детюнинг. Този резултат е доста изненадващ, но той обяснява загубата на ефективност в случаите, когато двете полета имат различна природа и се различават значително по сила, случай, в който експерименталните резултати досега предизвикваха недоумение.

Другият интересен резултат в дисертацията, свързан със СТИРАП, е пресмятането на времето за преход. Този резултат е важен за оценката на това до каква степен СТИРАП може да толерира некохерентност и е много полезна оценка за експериментаторите.

Последната глава е свързана с теоретичното обяснение на една нова техника за пренос на заселеност: стъпаловиден адиабатен преход. Дисертантът е навлязал в комплицираната техника на Флоке за анализ на такива процеси и е успял да обясни процеса достатъчно убедително.

Като цяло дисертантът показва едно задълбочено познаване на материята и проблемите, сериозно отношение и добра мотивация. Задачите в тази дисертация налагат използването на приближени математични техники, които изискват сериозна физична интуиция. Като известен недостатък в неговата работа мога да посоча неговата неоправдана неувереност във възможностите му.

Резултатите в дисертацията са отразени в две публикации във *Physical Review A* и *Optics Communications*. Четвърта работа е изпратена за публикуване във *Physical Review A*, а последната работа е в подготовка. Във всички работи дисертантът е първи автор и има водеща роля.

Дисертацията удовлетворява изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилника към Закона, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ "Св. Климент Охридски", както и допълнителните Препоръчителни изисквания и условия към кандидатите за придобиване на научните степени и заемане на академичните длъжности във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, които изискват две публикации в списания с импакт-фактор, в поне една от които дисертантът да има водещ принос. Въз основа на това оценката ми за представената дисертация е положителна и препоръчвам на уважаемото жури да присъди образователната и научна степен „доктор“ на Явор Янков Бораджиев по научно направление 4.1 Физика (Физика на атомите и молекулите).

проф. дфзн Николай В. Витанов

София, 13.04.2013 г.