

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд  
за придобиване на образователната и научна степен „доктор“  
в професионално направление 4.1 Физически науки,  
по процедура за защита във Физическия факултет (ФзФ)  
на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ (СУ)

Рецензията е изготвена от: проф. дфзн Асен Енев Пашов, СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет, в качеството му на член на научното жури съгласно Заповед №РД38-336/15/07/2021г. на Ректора на Софийския университет.

**Тема на дисертационния труд: “Квантови аналогии в класическата физика”**

**Автор на дисертационния труд: Елена Стоянова**

### Данни за кандидата

Елена Стоянова е възпитаник на Физическия факултет на Софийския Университет. Завършва бакалавърската степен на обучение през 2015 г. в специалност Фотоника и лазерна физика. Тя е първият студент в откритата през 2011 г. специалност. След успешна магистратура в областта на квантовата електроника, през 2017 г. Елена Стоянова е зачислена като редовен докторант към катедра Теоретична физика. Интересите са свързани с приложение и задълбочаване на получените като студент знания, при това тя демонстрира влечение към по-теоретичните разработки, затова изборът на ръководители – проф. Н. Витанов и доц. А. Рангелов – е логичен.

### Обща характеристика на научните постижения на кандидата

Темата на дисертационния труд е в областта на аналозиите между закони, описващи явления от квантовата и класическата физика. Основната идея при аналозиите е, че ако две явления се описват посредством едни и същи уравнения, то би трябвало да е възможно да се наблюдава подобно (аналогично) поведение на описваните величини. Също така решенията на уравненията, описващи едно от явленията, може непосредствено да се пренесат към другото явление. Като пример може да се посочи аналогията между уравненията, описващи силите между две маси и два заряда. Дисертацията, обаче, е посветена на аналогии между явления от квантовата и класическата физика. Темата не е нова и непрекъснато привлича интересите на изследователите. Само през последните двадесет години се появиха няколко книги, част от които са цитирани в дисертацията. Като важна ще спомена само аналогията между уравнението, описващо разпространението на вълни в нелинейни среди, и поведението на кондензата на Бозе-Айнщайн. Допреди наблюдението на кондензат от студени атоми, са били изучени множество явления от нелинейната оптика като генерация на втора хармонична, смесване на четири вълни в нелинейни кристали и т.н. Голяма част от тях са били повторени и при експериментите със студентие атоми – следвайки аналогията между основните уравнения. Темата с аналозиите във физиката е толкова интересна, че привлича вниманието и на педагози, и дори на философи (Brit. J. Phil. Sci. 18, 256 (1967)).

В дисертацията си Елена Стоянова решава три задачи от класическата физика като се базира на решения, получени в квантовата механика.

Първото е адиабатно движение на заредена частица в магнитно поле. Съществуват много решения на уравнението на движение при наличие на сила на Лоренц. При определени магнитни полета може да се

намерят аналитични решения, но в общия случай уравнението се решава числено. В дисертацията е разгледан интересният, но контраинтуитивен случай, при който частицата се движи, следвайки силовите линии на магнитната индукция **B**. Тръгва се от аналогията между уравнението на движение на частицата и уравнението на Блох. Уравнението на Блох е изведено през 1946 г., за да опише ядрената намагнитеност при ядрения магнитен резонанс (а също така електронния парамагнитен резонанс). Оказва се, че същото уравнение може да опише динамиката на квантова система с две нива, взаимодействаща с кохерентно електромагнитно поле. Тази аналогия вече е използвана, включително от ръководителите на Елена Стойянова, които са намерили много интересни решения, част от които са адиабатните. Достатъчно е да споменем техниката STIRAP. При определени условия системата запазва началното си адиабатно състояние и именно това използва Елена Стоянова. Тя въвежда по подходящ начин нов, адиабатен базис и показва, че ако магнитното поле е статично и се променя бавно в пространството (точно условие за валидност на адиабатното приближение е приведено в дисертацията), зарезаната частица ще се движи по силовите линии на полето. Резултатът е интересен и може да намери приложение в електронната оптика. Публикуван е през 2019 г. във *Physica Scripta* като дисертантът е пръв съавтор.

Втората и третата задачи използват аналогията между описанието и манипулирането на състоянието на поляризирана светлина посредством матрици на Джонс и състоянието на квантова система с две нива. За промяна на състоянието на светлината се използват най-често двулъчепречупващи кристали, оптичноактивни среди или други среди или елементи, които проявяват оптична анизотропия, т.е., в широкия смисъл на думата, имат различни свойства (показател на пречупване, коефициент на отражение, коефициент на поглъщане и т.н.) за различните поляризационни състояния на вълната. При квантовите системи, състоянието се манипулира с кохерентно електромагнитно поле.

Пред Елена Стоянова е поставена задачата да се възползва от резултатите, получени от нейните ръководители при прилагане на техниките на композитните импулси (отново оригинално разработени за ядрения магнитен резонанс) за манипулиране на квантови състояния и да конструира оптични елементи, които да манипулират състоянието на поляризацията на светлината. Обикновено промяната на квантовото състояние посредством ЕМ поле зависи от честотата на полето, честотата на прехода, поляризацията на полето, неговата амплитуда и продължителност (обикновено взаимодействието трае крайно време). В реалните експерименти не всички параметри може да се контролират, най-малкото заради движението на атомите и ефекта на Доплер. Техниката на композитните импулси позволява да се намали влиянието на отклонението на параметрите от оптималните им стойности посредством облъчването на системата с поредица от ЕМ импулси със строго определени разлики във фазите.

При оптичните елементи променящи поляризацията на светлината е важна зависимостта от дължината на вълната. При много от елементите се използва анизотропия на показателите на пречупване (или коефициентите на поглъщане), а самите те зависят от дължината на вълната. Така например, четвърт вълновата пластина въвежда фазова разлика в оптичните пътища между две взаимноперпендикулярни поляризации  $\pi(2m+1/2)$  ( $m$  е цяло число). Това може да стане като се използва разликата в показателите на пречупване при един двойнолъчепречупващ кристал със строго определена дължина. Поради наличната дисперсия фазовата разлика от  $\pi(2m+1/2)$  се постига само за една дължина на вълната, което силно ограничава приложението на такива вълнови пластини. За решаването на този проблем се предлагат разнообразни решения, например пластини с фазова разлика  $\pi/2$  ( $m = 0$ , така наречените Zero-order), ахромати или ромбове на Френел. Ахроматите са комбинации от два двойнолъчепречупващи кристала с различна дисперсия (подобно на ахроматичните лещи), докато при ромбовете на Френел се използва допълнителната фаза, която се появява при отражение на светлината от границата между оптично плътна и оптично по-рядка среда. В дисертацията е описан друг подход, базиран на опита с композитните импулси.

Елена Стоянова и съавтори предлагат да се създаде ахроматичен ротатор, като използва поредица от вълнови пластини, чиито оси са ориентирани под строго определени ъгли. Тези ъгли (съответстват на фазите при композитните импулси) се търсят така, че сумарната завъртане на поляризацията на входящия сноп да е на произволен ъгъл независимо от дължината на вълната (доколкото е възможно). Всъщност се решава оптимизационна задача, като целта е изпълнена толкова по-добре, колкото с повече параметри (ъгли) се разполага. Резултатите са показани на фиг.3.2 от Дисертацията и са публикувани в

J. Optics през 2019 г.. Като цяло областта на работа на ротатора е разширена от няколко nm до около 40-50 nm.

В последната глава е описано решението на третата задача от дисертацията. Това е устройство, което да преобразува поляризацията на светлина независимо от дължината на вълната. То се основава на ахроматични вълнови пластини и ротатор, използващ ефекта на Фарадей, т.е. завъртане на равнината на поляризация в магнитно поле. Предимството пред съществуващите подобни преобразователи е, че при Фарадеевия ротатор завъртането на произволен ъгъл може да стане чрез промяна на магнитното поле, а не чрез механично въртене, например на вълнови пластини. Авторите виждат в това възможност за бърза манипулация ако полето е създадено от електромагнит. Резултатите са публикувани в *Appl. Opt.* през 2020 г.

Пред нас е дисертационен труд, базиран върху три публикации в добри списания, Елена Стоянова е първи автор при подредба, което изразява признанието на съавторите, че тя е със съществен принос в тях. Тези публикации не са в списъка на публикациите, върху които един от ръководителите, доц. Андон Рангелов, защити дисертация за придобиване на научната степен „доктор на науките“.

### Критични бележки и препоръки

Сериозни критични бележки към дисертацията нямам, по-скоро препоръки.

Като цяло дисертацията е кратка, около 65 страници. Част от дисертацията повтаря (на места дословно) съдържанието на публикациите на дисертанта. У нас няма общоприети аргументи срещу тази практика, но тъй като писането на статиите е дело на колектива, четейки дисертацията не мога да оценя степента на самостоятелност на дисертанта и задълбочеността на получените знания. Остава ми до голяма степен да се доверя на авторитета на ръководителите и на представянето на Елена Стоянова по време на защитата.

В началото на дисертацията бих очаквал по-подробен преглед на аналозиите между закони и уравнения в различни области на физиката. Той не би имал директно отношение към съдържанието на дисертацията, но би отговарял нейното заглавие, което е доста общо. Също така един такъв преглед би показал какво е направено до момента, колко широко е полето, какво е новото и къде е мястото на настоящите изследвания. Научната и *образователната* степен доктор, според мен, предполага един такъв подход. Разбира се, кратък преглед в дисертацията има, има мотивация и преди всяка от главите, препоръката ми е за един по-широкообхватен преглед, демонстриращ значимостта на научната тематика и познанията на дисертанта.

Друга препоръка е включването в дисертацията на глава, описваща конструкцията на съвременни вълнови пластини и ротатори. Работата не е изцяло теоретична, а предхождащото образование на Елена Стоянова е именно в тази област. Наличието на такава глава би показало, че дисертантът познава добре тези оптични елементи, работил е с тях, знае за предимствата и недостатъците им и предлага съответни решения. Отново, на места в дисертацията се говори за конструкцията на оптичните компоненти, но читателят остава с впечатление, че това е далеч от основната тема на дисертацията.

Дисертацията е написана на английски език. На места, обаче, се срещат правописни грешки, които се забелязват дори от неспециалисти. Отбелязал съм в моето копие на дисертацията това, което съм забелязал, предполагам дисертантът ще ги поправи в окончателния вариант, но препоръчвам повторно внимателно изчитане на дисертацията от специалист.

Следва списък от дребни забележки, които препоръчвам да се отчетат в последната вергия на дисертацията:

1. Стр. 10, уравнение (2.3). Вляво величината е вектор, вдясно скалар.
2. Стр. 11 Atoms are the smallest unit that compose the mater. Така ли е наистина?
3. Стр.12 Фиг.2.3 ...optical transition.... Всъщност показан е просто преход. Дали ЕМ поле е в оптичния диапазон в случая не е съществено.

4. Стр.12, последен ред ...when the light **frequency** is very close to resonance.... Защо (2.6) важи само в този случай?
5. Стр. 13. Накрая, не допуска ли уравнението на Шрьодингер и някои аналитични решения? Също така казва се, че (2.9) е общо решение, но то не обхваща непрекъснатите състояния. Не се казва какво е  $\psi_i$ .
6. Стр.14 До (2.10) се разглежда произволен брой стационарни състояния, а в (2.11) изведнъж се говори само за две.
7. Стр.14 (2.13) липсва векторът над  $E$ .
8. Стр.15 не се дава определение за диполен момент  $d$ . Казва се, че светлината е линейно поляризирана и се премахват векторите над  $E$ . Не е ли добре да се каже, че се избира една от осите на координатната система да е по полето?
9. (2.14) прави ли се някъде приближение на въртяща се вълна? Не се споменава. Веднага след това уравнение в определението на честота на Раби следва да е  $\varepsilon(t)$ , съгласно въведените по-горе обозначения.
10. Не разбирам от къде идват уравнения (2.19)? Дали не липсват изречения на стр.16-17?
11. Стр.17 накрая. Не се казва кога честотата на Раби може да е комплексна.
12. Стр.19 The change in the population inversion is due to **the interaction** (parametrized through the Rabi frequency).... Define *absorptive part of the induced dipole moment*.
13. Стр. 23 края....slowly... сравнено с какво?
14. Стр.24 края, ....no work **is done**....
15. Стр. 32 края. Координатните оси не бяха ясно дефинирани в началото, а тук се споменават.
16. Стр.52, след (4.4) Тук можеше да се споменат вълновите пластини от нулев порядък, ахроматичните и суперахроматичните.
17. Стр.63 края. ...half-wave plate rotated at ...angles with respect of their fast...axes. Това правилно ли е?

Към дисертанта имам следните въпроси:

1. Стр.45 средата. Не разбирам описанието на положенията на лещите и диафрагмите. Леща  $f_1$  превръща светлината от точковия източник  $I_1$  в успореден сноп. Този сноп осветява диафрагмата  $I_2$ , която намалява диаметъра му.  $I_2$  е източник на колимирана светлина и е във фокуса на  $f_2$ . Защо? Как това подобрява степента на колимация?
2. Стр.50 Казва се, че ротатор може да се направи с две полуълнови пластини. А не може ли с една?
3. Стр.60 края на глава 4.5. Лесно ли е да се получи магнитно поле с променлива индукция от порядъка на 1 Т? Как?
4. Стр.64 Какъв е механизмът за превключване на поле 1Т в рамките на 1  $\mu$ s? Споменава се за симулации, но няма подробности.

**Заклучение.** Дисертационният труд, авторефератът и научните публикации на Елена Стоянова покриват минималните научни изисквания на ЗРАС и Правилника към него, а също така изискванията на Физическия факултет на СУ Св. Климент Охридски. Подкрепям присъждането на образователната и научна степен „Доктор“.

21.09.2021

София