

## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд на тема „Динамика и стабилност на солитони в дискретни системи“ от гл. ас. Радостина Стефанова Камбурова за придобиване на образователната и научната степен „доктор“ в област: 4. Природни науки, математика и информатика – професионално направление: 4.1. Физически науки, специалност „физика на кондензираната материя“.

от проф. дфн Хассан Шамати – Институт по физика на твърдо тяло, БАН.

### *Актуалност на проблема*

Понятието „солитон“ характеризира структурно устойчива вълна, която се разпространява с постоянна скорост вследствие на баланс между нелинейни и дисперсни ефекти. При сблъсък помежду си солитоните запазват формата и скоростта си. От откриването им до наши дни солитоните намират многобройни приложения от корабоплаването до пренос на данни чрез оптичните кабели. Солитоните играят съществена роля и в кристални образувания (периодични, дискретни решетки), където условията за получаването им се дължи на конкуренцията между сили, породени от две различни явления. Това позволява адекватно обяснение на редица физически свойства, които наподобяват локализиращи състояния. Солитоните са обект на интензивни изследвания както в традиционни физически системи, например акустичните вълни, характерни за трептенията на атомите в кристалната решетка, така и в новооткритите „охладени“ оптични решетки, където атомите лежат в минимумите на периодичен потенциал. Експериментално, солитонът – граничната област между двете основни състояния на  $\text{trans-}(-\text{CH} = \text{CH-})_N$  – е наблюдаван в проводящи полимерни верижки, където е намерено, че той се простира върху няколко въглеродни атома.

Динамиката на солитона в твърдите тела зависи до голяма степен от нееднородността на кристалната решетка. Тя може да съдържа дефекти (примеси, ваканции), гранични области и т.н., които нарушават периодичността, а оттам и трансляционната симетрия. Дефектите внасят нови елементи: плътност (средно разстояние), ефективен радиус на взаимодействие, отношение между тях, характерните размери на образца и др. Оттук се вижда, че наличието на дефектите има голямо влияние върху свойствата на солитоните в кристала в частност и други физически характеристики като цяло, тъй като взаимодействието му с дефектите поражда съвършено нови ефекти.

Използването на компютрите като средство за извършване на научни изследвания не само е помогнало за решаване на много сложни класически проблеми, но е довело до разкриването на напълно нови неочаквани физически явления. Това прави числените изследвания предпочитан подход за проучвания в модерната

наука. Дисертация следва именно тази тенденция и използва добре известни съвременни методи за решаване на залегналите в нея математически проблеми за постигането на поставените цели.

Изложението на материала ясно показва, че кандидатът добре познава актуалното състояние на проблема и постиженията в тази бурно развиваща се област, както в общ план на изследванията в литературата, така и в частност с темата на дисертацията. Това се вижда от направения в първата глава обширен обзор със сродни в литературата изследвания, с техните резултати и изводи, което се използва по-нататък за сравнение с получените оригинални резултати. Извършеният подробен анализ на получените от други автори резултати дава възможност да се формулират с голяма точност основните задачи и поставените цели на дисертационния труд.

### *Аналитична характеристика на материала*

Представеният ми за рецензиране дистанционен труд е с общ обем от 93 страници и съдържа голям брой фигури, илюстриращи получените резултати. Състои се от увод и 4 глави – първата има обзорен характер, а следващите три (от 2-ра до 4-та) излагат изследванията с оригиналните резултати на дисертанта. Останалата част от дисертацията представлява списък, обобщаващ основните научни приноси, списък на авторските публикации, залегнали в основата на дисертацията, списък с информация за участие в научни мероприятия и библиография с 88 литературни източника.

В увода се обосновава необходимостта от изследването, проведено в дисертационния труд и се описва подробно съдържанието му. В първата глава се прави задълбочен анализ на актуалното състояние на проблема и се дефинира целта и поставените задачи за постигането ѝ .

Първата глава започва с исторически бележки за възникването на солитона като явление и проследява интереса към него през вековете до наши дни. Въвеждат се понятията и се обсъждат най-изследваните уравнения, които са представлявали интерес в различните области на науката, като се акцентира върху физиката на твърдото тяло (включително Бозе-Айнщайн кондензат) и оптиката. Упоменават се най-популярните методи (аналитични и числени) за решаване на тези уравнения в дискретно и континуално приближения. По нататък се прави анализ на влиянието на нееднородността върху динамиката на солитоните. Тази глава завършва с кратко изложение за практическото приложение на солитоните в биологията и в кондензираната охладена материя.

Глава втора е посветена на разглеждането на поведението на солитон в три различни физически системи: (1) система от два успоредни идентични вълновода с дисперсно взаимодействие между тях. За провеждането на изследванията се използва система от две взаимно свързани модифицирани уравнения на Шрьо-

дингер, включващи един линеен параметър и два други, описващи дисперсията на взаимодействието между двете верижки. В този случай нелинейността на средата се отчита чрез ефекта на Кер. Такъв тип изследвания е от голямо значение за оптични превключватели. Получените резултати сочат, че за фемтосекундни импулси дисперсията на линеиния коефициент е значителна; (2) система от три взаимодействащи успоредни молекулни верижки за описание на прехвърляне на енергия в спиралата на белтъци. Намерено е, че наличието на слабо (в дисертацията не става ясно как точно се определя мощта на взаимодействието) линеино взаимодействие води до разрушаване на солитона, а силно такова до неговото периодично прехвърляне между верижките. Включването на допълнително нелинейно взаимодействие стабилизира локализираните състояния в системата. Това показва, че за експерименталните параметри на спиралата са налични всички условия за съществуването на солитони; (3) система от две взаимодействащи Абловиц-Ладик верижки с два вида взаимодействия, които отчитат с различна степен нелинейността и дисперсията. При дисперсионното взаимодействие задачата се свежда до тази на първоначалния модел на Абловиц-Ладик, а при недисперсионното се получава, зависеща от ширината на импулса критична стойност, над която солитонът губи енергия и се разрушава.

Глава трета разглежда по-реалната физическа картина на поведението на солитон в твърдо състояние, а именно при взаимодействие с дефекти от различно естество. Най-напред се изследва влиянието на дефектна междувъзлова връзка върху динамиката на солитон в нелинейна верижка на Шрьодингер. В тази система се получава „сдвояване“ на дефекта със солитона при потенциал на привличане и разцепване на солитона при отблъскване. Следващата крачка е обобщаването на изследванията за случая, когато броя на дефектите във верижката е по-голям. Построена е диаграма, илюстрираща разсейването на солитона в зависимост от неговата скорост и големината на дефектната връзка. Накрая се насочва вниманието към сравнение на резултатите, получени за модела на Абловиц-Ладик, с тези от дискретния модел на Шрьодингер от една страна и между дефектна връзка и точков дефект от друга. За двата модела се стига до сходни заключения: за тесни солитони, картината е различна в зависимост от вида на дефекта, но при широки тази зависимост изчезва.

Глава четвърта е посветена на разсейването на солитон от точкови дефекти в система от две нелинейни верижки. Допуска се взаимодействието между двете верижки да има линеен или нелинеен характер. Показано е, че в тази система наличието на точков дефект не повлиява поведението на солитона, известно за еднородния (без дефекти) случай.

### ***Научни приноси***

От горния анализ се вижда, че настоящият научен труд има фундаментален характер. Основава се върху добре дефинирани в литературата моделни системи,

чиито избор е добре обоснован. Не съм проверявал аналитичните резултати, но получаването им изглежда убедително и достоверно. Научните приноси върху, които се защитава дисертацията касаят намиране на условия за получаване и устойчивост на самолокализиращи вълни в системи с една или повече верижки, описващи макромолекули или „оптични влакна“. Разглеждат се и възможности за прехвърляне на солитоните в зависимост от естеството на обменното взаимодействие (линейно или дисперсионно, или комбинация между двете) между отделните съставляващи на системата верижки. Следваща стъпка е обстойното изследване на поведението на солитоните при наличие на примеси (точкови и междувъзлови дефекти) в системата. Използваните методи за провеждане на научните изследвания са добре апробирани и съчетават аналитични и числени подходи. Научните резултати тук могат да се характеризират като получаване и доказване на нови факти, а също така и получаване на потвърдителни такива, които проверяват и надеждността на използваните методи.

По конкретно, научните приноси в дисертацията могат да се обобщят по следния начин:

- Показано е, че нелинейният коефициент на взаимодействие между два нелинейни оптични вълновода играе важна роля за стабилизирането на солитонната динамика в системата, съставена от двата вълновода.
- Получено е поведението на солитона в система (моделираща структурата на  $\alpha$  спиралата на белтъка) от три успоредни верижки в зависимост от параметрите на модела. Отчитането на линейно взаимно влияние между верижките разрушава солитона при малки стойности и ги кара да се прехвърлят от една верижка в друга при големи. Нелинейно взаимодействие стабилизира солитоните отново.
- Получени са условията за съществуване и прехвърляне на солитони във взаимодействащи верижки на Абловиц-Ладик при наличие на линейно и нелинейно взаимодействия.
- Изведено е нелинейното уравнение на Шрьодингер за верижка с дефектна междувъзлова връзка. Аналитичното решение на това уравнение води до устойчиво сдвояване на дефекта със солитона при определени условия. Численото изследване показва разнообразни поведения на разсейването на солитона от дефекта в зависимост от параметрите на модела. В случай на точков дефект винаги се получава сдвояване на дефекта със солитона.
- Показано е, че точков дефект в модела на Абловиц-Ладик винаги води до сдвояване на солитона с дефекта, а в случай на междувъзлов дефект солитонът и дефектът могат да съществуват единно или поотделно.
- Показано е за две нелинейни верижки на Шрьодингер с точков дефект, че солитонът може да бъде прехвърлен, захванат или отразен и са определе-

ни условията за осъществяване на такива ефекти.

### ***Преценка на публикациите***

Дисертацията се основава на 8 научни труда, публикувани в международни реномирани списания, индексирани в световни бази данни с научна информация: по една статия в Physical Review E, Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials, physica status solidi b, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Journal of Physics: Conference Series и AIP Conference Proceedings. Останалите две статии са публикувани в материали на международни конференции. Радостина Камбурова е на първо място в четири от тях, което е признак за водещата ѝ роля в част от приносите на настоящия труд. Основните резултати, включени в дисертацията, са изнесени като доклади на 5 международни научни форума и са отчасти финансирани от 4 договора с Фонд научни изследвания.

По последни данни, две от гореспоменатите работи са цитирани 6 пъти. Това са phys. stat. sol. (b) 217, 769 (2000) – 3 пъти и Phys. Rev. E 77, 066604 (2008) – 3 пъти. Искам да отбележа, че половината от цитатите са от 2015-та година.

Авторефератът е написан съгласно изискванията и правилно отразява съдържанието на дисертационния труд.

### ***Забележки и препоръки***

В дисертацията се срещат и известни слабости, свързани предимно с оформлението ѝ, както и с неясно формулирани или неправилно преведени от английски език термини. Описанието на някои от фигурите не е достатъчно информативно и номерирането им е объркващо. Разбира се, тези слабости са от чисто техническо естество и съвсем не омаловажават научното качество на дисертационния труд. Що се отнася до научната страна, би било добре кандидатът да обясни при какви условия взаимодействието се определя като слабо или силно.

### ***Заключение***

Въз основа на казаното по-горе, считам че изискванията за образователната и научна степен „доктор“ са изцяло изпълнени и давам ***положителна оценка*** за присъждането на образователната и научна степен „доктор“ на Радостина Камбурова, гл. ас. към ИФТТ–БАН по научната специалност 4. „Физически науки“.

Дата:  
14.08.2015г.

Рецензент:  
/подпис/