

С Т А Н О В И Щ Е

относно дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен
„Доктор“
професионално направление 4.1. Физически науки
специалност 01.03.01 „Теоретична и математическа физика“

Автор на дисертационния труд: **Иво Николаев Илиев**
докторант във Физически факултет на Софийския университет
„Свети Климент Охридски“

Тема на дисертационния труд:
Точни решения в холографски модели

Научен ръководител:
професор дфзн Радослав Христов Рашков
Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“

Автор на рецензията — Председател на научното жури:
доцент д-р Димитър Магдалинов Младенов
Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“

1 Актуалност на темата на дисертацията

Теорията на струните, безспорно, е най-сложната теория в съвременната теоретична и математическа физика. Тя възниква като най-обещаващият кандидат за квантова теория на всички известни досега взаимодействия, тоест в рамките на теорията на струните е поставена изключително амбициозната задача да бъдат обединени квантовата гравитация и калибровъчната теория на елементарните частици.

Теорията на струните е дълбоко революционна от гледна точка на начина на разглеждане на фундаменталните физични обекти, а именно, вместо да се моделират като геометрични точки с определени физични свойства, фундаменталните частици се представят като едномерни протяжни обекти, наречени струни. На някой това обобщение може да се стори не кой знае каква работа, но всъщност това е революция във физиката. За квантовото изследване на релативистки едномерни протяжни обекти бяха задействани, освен станалите вече традиционни в теоретичните изследвания научни области, почти всички класически и модерни дялове на математиката, такива, например, като алгебричната геометрия, некомутативната геометрия и теорията на числата. Въпреки огромните усилия на голям брой изключително талантиливи изследователи теорията на струните е много далече от това да бъде завършена. Причината за това, лично според мен, е, че въпреки че са подсилени с голямата мощ

на задействиия математически апарат, при изследването на струните се използват традиционните методи и фундаментални принципи на локалната квантова теория на полето, което, поне засега, не води до окончателното построение на непротиворечива теория на струните. И докато това положение не се промени, бурното развитие на теорията на струните, според мен, ще се смени с период на относително спокойствие.

През 1997 година Хуан Малдасена публикува статията *The Large N Limit of Superconformal field theories and supergravity*. Ще се изразя може би малко високопарно, но тази работа предизвика революция в струнната наука (поне от гледна точка на цитиранията е така; досега тази статия е цитирана десетки хиляди пъти и, доколкото знам, е най-цитираната работа в областта на теоретичната и математическа физика). В статията на Малдасена е показано, че физични теории от различен тип са свързани с преобразования на дуалност, а именно, от едната страна на съответствието, често обозначавано като AdS/CFT съответствие, се намират гравитационни теории, формулирани в рамките на теорията на струните (пространството анти-де Ситер играе определена роля в квантовата гравитация, затова е присъствието на абревиатурата AdS), а от другата страна на AdS/CFT съответствието се намират квантовополеви теории с конформна симетрия.

AdS/CFT съответствието е забележително по следните причини. Дуалността, която възниква при AdS/CFT съответствието, всъщност е силна-слаба дуалност, тоест тя свързва теории с малка константа на връзката с такива, константата на връзката на които е голяма. Например, използвайки AdS/CFT съответствието можем да изследваме квантовополеви теории с голяма константа на връзката с помощта на гравитационни теории с малка константа на връзката, тоест това дава възможност квантовополеви теории със силна връзка да бъдат изучавани пертурбативно с помощта на гравитационни теории със слаба връзка. Също така, AdS/CFT съответствието е реализация на холографския принцип, въведен в съвременната физика от Жерар т' Хофт, който ни казва, че свойствата на дадена физична теория, зададена в някой обем, всъщност са закодирани в границата на обема, която има по-ниска размерност.

Очевидно е, че AdS/CFT съответствието представлява изключително мощно средство за изучаване на физични теории. Но какъв всъщност е неговият статус? Доказано ли е AdS/CFT съответствието? Ако да, то колко „строго“? В кои конкретно случаи е доказано? Всички сме присъствали на такива, понякога доста горещи, обсъждания, където са се поставяли подобни въпроси, което показва, че AdS/CFT съответствието е много далече от своето пълно разбиране.

Дадената дисертацията е посветена на изследвания именно в това русло. Задачите, които са поставени в нея имат за цел да бъде прояснен статусът на AdS/CFT съответствието, като вместо обичайно разглежданите досега релативистки квантовополеви модели с конформна симетрия да бъдат изучени и нерелативистки конформни квантови теории на полето. Нерелативистки квантовополеви модели с конформна симетрия естествено възникват, например, във физиката на кондензираното състояние, физиката на атомите и молекулите и ядрената физика. Тези факти дават основание да смятаме, че изследванията в областта на нерелативистката холография (така се нарича AdS/CFT съответствието когато разглежданите полеви модели са нерелативистки) са доста интересни и нужни за съвременната физика.

Или кратко казано, дисертация е посветена на изследвания, които могат да бъдат причислени към фундамента на теорията на струните. А именно, в дисертацията се изучават разни аспекти на холографията, или по-конкретно на нерелативистката холография. Дори и минимални прояснения в тази фундаментална част от теорията на струните биха били много полезни за очертаването на контурите на крайната картина. Всичко това определя тематиката на дисертацията като особено актуална и интересна.

2 Структура на дисертацията

Дисертационният труд е написан на български език и се състои от 152 страници, разпределени в 10 глави, първата от които представлява увод, а последната е заключение. Научните приноси и списъкът на публикациите, на които се основава дисертационният труд са включени в заключението. Накрая дисертацията завършва с две приложения, в които за удобство са събрани на едно място важни, от гледна точка на получените в дисертацията резултати, формули. В дисертацията е представен и списък на използваната литература, който съдържа 81 заглавия, подредени по ред на цитиране в текста. За онагледяване на представения в дисертацията материал в нея са включени 10 фигури и 3 таблици. В дисертацията, също така, са включени и списък с използваните съкращения и благодарности.

Материалът, засегнат в дисертацията, както беше отбелязано по-горе, е разпределен в десет глави. Първите осем глави са уводни, като в тях са изложени предварителни сведения, необходими при изследванията в областта на дисертацията, което прави текста до известна степен самосъгласуван, минимизира обръщението към други източници и помага за разбиране на получените научни резултати. По-конкретно, в уводните глави е представен доста разнообразен материал, който включва кратък увод в теорията на струните, увод в геометрията на пространството на анти-де Ситер, основни сведения за AdS/CFT съответствието и пространството на Шродингер, някои факти, касаещи многообразието на Сасаки-Айнщайн.

В **Девета глава** са представени оригиналните резултати, включени в дисертацията.

Десета глава представлява заключение, в което кратко и ясно са резюмирани научните приноси на дисертационния труд, като са набелязани и перспективи за бъдещи изследвания и, също така, са представени научните публикации, на които се базира дисертацията.

3 Основни приноси

Основните приноси на дисертацията могат да бъдат резюмирани по следния начин:

- Основна задача, поставена в дисертацията, е изследване на динамиката на струни, разпространяващи в пространство от определен тип. По-конкретно, изучена е динамиката на бозонна струна, зададена в многообразието $\text{Schr}_5 \times T^{1,1}$, където Schr_5 е 5-мерно многообразие, чиято метрика има за група на изометриите

групата на Шродингер, а $T^{1,1}$ е 5-мерно регулярно многообразие на Сасаки-Айнщайн. За този модел е получен е Лагранжианът, който има сигма-моделен вид. Оттук се вижда и основната мотивация на изследванията в дисертацията, а именно изучаване на нерелативистки вариант на AdS/CFT съответствието, както и изучаване на динамиката на струни, разпространяващи се в многообразието с конични особености.

- Изследването на динамика на струната в многообразието $Schr_5 \times T^{1,1}$ в общия случай е много сложна задача. Затова, за по-нататъшно изследване на системата, е използван определен анзац. В този случай е получен Лагранжиан и, съответно, уравненията за движение. Тук трябва да отбележа, че получените Лагранжиан има доста сложен вид, и съответно уравненията на движение са много сложни, но въпреки това, за този модел, в дисертацията са получени точни решения, които описват определени струнни конфигурации, които се наричат гигантски магнони и шиповидни струни.
- В дисертацията, в случай на гигантски магнони и шиповидни струни, разпространяващи се в многообразието $Schr_5 \times T^{1,1}$, са представени дисперсионните съотношения.

4 Научни публикации. Цитиране на научните трудове

Общият брой на представените в дисертацията публикации е **3**, като в това число:

A. В реферирани списания — **3**

A1. Journal of High Energy Physics — **1**

A2. Journal of Physics **A**: Mathematical and Theoretical — **1**

A3. Journal of Physics and Technology — **1**

B. Публикации в материали на конференции, сборници и архиви — **0**

5 Автореферат

В даденият случай авторефератът представлява просто съкратена форма на дисертацията и поради тази причина напълно правилно и точно отразява научното й съдържание.

Но според мен в автореферата, особено когато се касае за такава изключително сложна научна област като съвременната теория на струните, материалът трябва да бъде представен така, че получените резултати да бъдат разбрани и осмислени от по-широк кръг от физици, а не да прилича на текст, написан от една струнна група за друга струнна група. Мисля, че авторът на дисертацията безспорно има таланта много ясно и точно да си изразява мисълта, и когато е необходимо, и без много

формули. Лично аз, някога в моя автореферат, бях оставил само няколко от най-важните формули. Но това е въпрос на стил, затова изказвам само лично мнение, не казвам, че така е правилно.

А по същество, в автореферата са посочени две научни работи, на резултатите на които се основава дисертацията, а в дисертацията са посочени три статии. Също така, пак само мое лично мнение, получените научни резултати би трябвало някак по-релефно спрямо останалия текст да бъдат описани и разяснени.

6 Забележки

Съществени критични бележки по дисертацията нямам.

Имам по-скоро някои препоръки и забележки по оформлението на дисертационния труд, които с необходимост изразяват само личното ми мнение.

В дисертацията присъстват известно количество, всъщност съвсем не малко, печатни, граматически и смислови грешки в текста и печатни грешки в някои от формулите. От друга страна, дисертантът има ясен и компактен стил на писане, което спомага материалът, изложен в дисертацията, напълно да се разбира, и до голяма степен да неутрализира присъствието на отбелязаните неточности. Но все пак, на места доста свободният начин на изразяване и използването на някои неточни термини създава усещане, поне у мен, за не много строг стил на излагане на материала. Например, вместо „слоение на Риб“ е използван термина „разслоение на Риб“; въпреки че тези термини звучат близко, имат доста различен смисъл. Също така, постоянно се говори за някакви „глобални координати на многообразието“, „метрика, записана в глобални координати“ „нещо си е инвариантно под някакви трансформации“ и най-различни други такива волности на езика. Искам да кажа обаче, че в повечето от случаите много добре се разбира какво се има предвид, но все пак трябва, особено когато е в писмена форма, да се изразяваме коректно.

7 Обща характеристика на дисертацията

- Дисертационният труд на Иво Илиев е посветен на една от най-актуалните и сложни области на съвременната теоретична физика, а именно на струнната теория.
- При решението на поставените в дисертацията задачи, съдейки по голямата сложност на използваните формули, е използван предимно софтуеър за аналитични изчисления. Това отдавна стана характерна черта на съвременното поколение струнни теоретици.
- Научните резултати са публикувани в най-високо реномирани международни списания, такива като, например, **Journal of High Energy Physics** и **Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical**, както и в набиращи все по-голяма популярност и международен авторитет национални списания като **Journal of Physics and Technology**.

- При четене на дисертацията се вижда, че дисертантът успешно е навлязъл в една много модерна научна област, каквато е съвременната струнна теория, и е овладял доста сложни методи и техники. При преглед на използваната литература, както в дисертацията, така и в публикуваните научни трудове, ясно се вижда, че дисертантът много добре познава изследваната област.
- Решените в дисертационния труд задачи са много интересни и напълно съответстват на една съвременна дисертация в областта на теория на струните. В няколко места от текста са споменати евентуални бъдещи задачи, които включват изучаване на геометрични потоци, такива, например, като поток на Ричи, върху деформирани по специфичен начин многообразия. Лично на мен тези бъдещи задачи ми се виждат много по-сложни от разгледаните в дисертацията, но пък са и доста по-интересни. Затова, накрая, бих искал да пожелаая на Иво Илиев непременно, и с още по-голямо усърдие, да продължи своята научна работа в тематиката на дисертацията си.

Дадената дисертация напълно удовлетворява изискванията, отразени в Закона за развитие на академичния състав в Република България, както и вътрешните, специфични изисквания на Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“.

8 Заключение

Взимайки предвид всичко казано досега, без колебание, препоръчвам на многоуважаемото жури да присъди на Иво Николаев Илиев образователната и научна степен „Доктор“.

С уважение:

доцент д-р Димитър М. Младенов

6 юли 2021 година
София