

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: Димо Любомиров Арнаудов,
докторант във Физическия факултет на Софийски университет „св. Кл. Охридски”

Научно направление: 4.1 Физически науки (01.03.01 Теоретична и математична физика)

Тема на дисертационния труд: "Пертурбативни и непертурбативни аспекти на съответствието между струни и калибровъчни теории“

Научен ръководител: проф. дфзн Радослав Христов Рашков (ФзФ-СУ)

Рецензент: проф. дфзн Стойчо Стоянов Язаджиев (ФзФ-СУ)

Обща характеристика

Теорията на струните в най-широк смисъл е опит да се обединят фундаменталните физически теории на квантово ниво. Въпреки че има и други теории със същите претенции, теорията на струните без съмнение е най-популярна. От една страна тя има най-далече отиваща кохерентност, счита се, че тя съвместява непротиворечиво Стандартния модел и Общата теория на относителността.

От друга страна в нейната структура има нещо силно наподобяващо големите математически теории -- намерени са твърде много свойства на обектите, както и серия връзки между тях самите и с обекти изглеждащи много далечни -- например съвременната алгебрична и диференциална геометрия.

Една идея, която дава надежди за експериментална проверка на теория на струните е забележителната хипотеза на Малдасена за "дуалност" между струнна теория в пространство, което е произведение на Анти- де Ситер с компактно пространство (например пет-мерна сфера) и супер- Янг-Милс теория в (3+1) измерения. „Вероятно хипотезата на Малдасена (AdS/CFT) е най-шокиращото следствие на физиката на браните", счита Стивън Хоукинг. Най-впечатляващото е, че има еквивалентност между калибровъчни теории и струни, дефинирани в различни по размерност пространства, като двете теории са дуални. Това означава, че когато едната теория се разглежда при силна константа на връзката, другата е при слаба константа на връзката и може да се третира пертурбативно. В екстремалните случаи връзката е между квантова и (квази-) класическа теория. Развитието в тази област отива и още по-далече - разглеждат се дуалности които свързват теории в пространства с различни размерности -- четиримерни и шест-мерни, двумерни и 4 мерни и други.

Холографската дуалност изненадващо намери приложения в много други области. Посториха се модели на кварк-глюонна плазма, чиито небикновени свойства предсказани от тези модели се потвърждават експериментално, релятивистка хидродинамика на силно корелирани квантови системи, елементи от космологията и други. Едно от най-основните направления в тази област е изучаване на калибровъчните теории и елементарните частици при силна константа на връзката. В това направление попада и квантовата хромодинамика, чието разбиране е все още твърде далеч от желаното.

Дисертацията на Димо Арnaudов е в последното споменато направление. По-конкретно, непertурбативната област на калибровъчните теории е трудна за изследване поради факта, че не можем да използваме теория на пертурбациите - единственото средство с което разполагаме към този момент. Огромните трудности започват от самото начало - не може да се определят дори аномалните размерности на операторите в квантовата теория (не може да се използват уравненията на ренормализационната група). Ако разглеждаме конформна теория, тези размерности дават съществена информация за свойствата на теорията. Следваща естествена стъпка в изследвания от този тип е да се пресметнат корелационните функции (т.е. експериментално наблюдаеми величини). За да се намерят тези важни и основни характеристики в последните години се използва т.нар. холографско съответствие, т.е. използва се съществено дуалността между струни и калибровъчни теории. Дисертацията на Димо Арnaudов е посветена именно на тези два основни проблема - намиране на аномалните размерности на операторите в калибровъчни теории при силна константа на връзката и намиране на метод и пресмятане на корелационните функции на класове от калибровъчни оператори.

Дисертационният труд е на 123 страници и съдържа: Увод, 6 глави и 6 приложения. Библиографската справка съдържа 157 заглавия. Първите три глави имат обзорен характер, като те дават кратко, но достатъчно пълно описание на областта, задачите които се поставят и решават, а така също и някои специфични идеи и техники. В тези глави се дефинират в общ вид проблемите които се изследват в дисертацията. В последните три глави се излагат оригиналните резултати получени от докторанта. В 6-те приложения са изнесени някои по-дълги и сложни пресмятания които биха затруднили изложението в основната част. Библиографията много добре отразява както развитието на проблематиката през годините, така и последните достижения в областта.

Авторефератът е на 44 страници и правилно отразява съдържанието на дисертационния труд.

Актуалност

Изследванията на докторанта са върху "холографската" дуалност между суперструни от една страна, и различни типове калибровъчни теории в квантовата хромодинамика, релятивистката хидродинамика или физиката на кондензираните среди, "живеещи" на границата на обемащото многомерно пространство-време, от друга страна.

Тематиката на дисертацията спада към една от най-активно развиваните области в съвременната теоретична и математическа физика. В този смисъл актуалността на дисертационния труд в научно отношение не буди никакво съмнение.

Изследванията представляват съвкупност от решаване на редица сложни интердисциплинарни по своето същество проблеми в една бурно развиваща се и много сложна област на съвременната математическа и теоретична физика. Задачите свързани с изследванията са от областта на суперструните, квантова теория на калибровъчните полета и елементарните частици, алгебрична геометрия, динамични системи, диференциални уравнения, диференциална геометрия и други.

Приноси

Приносите в дисертационния труд на Димо Арnaudов могат да се групират в две главни направления:

1) Решаване на спекрална задача в смисъла на аномални размерности на оператори в калибровъчни теории при силна константа на връзка чрез струнната теория. При струнна теория с по-малка суперсиметрия обемащото пространство има по-сложна геометрия. Намирането на струнни решения в тези пространства и намирането на съответните запазващи се заряди, както и намирането на дисперсионните съотношения за струнните решения дават възможност за определянето на аномалните размерности. Тези приноси са изложени главно в 4-та глава като в това направление са получени следните по-важни резултати:

а) Калибровъчна теория с $N=1$ суперсиметрия е дуална на струнна теория в пространство получено от N D3 брани на върха на т.нар. конифолд, т.е. $AdS_5 \times T^{1,1}$. Намерен е клас от пулсиращи струнни решения описващи широк клас от кирални оператори в калибровъчната теория. Намерени са класическите дисперсионни съотношения и водещите квантови поправки към енергията което дава възможност да се определят аномалните размерности на операторите. По аномалните размерности са идентифицирани съответните кирални оператори.

б) По-сложен клас от струнни решения дуални на калибровъчни оператори от по-общ клас представляват решения в по-сложни фонове геометрии. Разгледани са геометрии на Сасаки-Айнщайн ($AdS_5 \times Y^{p,q}$) и три-Сасаки-Айнщайн ($AdS_5 \times L^{p,q,r}$) като са намерени решения от класа на пулсиращи струни в термини на функции на Хойн. Получени са вълновите функции и струнната енергия като функции на запазващите се заряди.

2) Пресмятане на корелационни функции на оператори в калибровъчни теории при силна константа на връзка чрез дуалността им със суперструни. Задачата за намиране на корелационните функции използвайки дуалността със суперструни е изключително нетривиална. В общият случай тя е еквивалентна на намирането на минимална повърхост в изкривено пространство с фиксирани точки на асимптотичната граница на това пространство (задача на Плато). Точното решение на тази задача и до днес е предизвикателство за математиката, а както се вижда от тук и в някакъв смисъл и за физиката. В някои случаи с известни приближения задачата може да бъде решена и тази възможност е използвана в представените изследвания. За съжаление към този момент е възможно пресмятането само на корелационни функции в които само два оператора съответстват на струнно решение, докато останалите са супергравитационни решения, т.е. нулеви моди на струната. Получените резултати могат да се класифицират по следния начин:

а) Намерени са триточковите корелационни функции на класове оператори в $N=4$ суперсиметрична теория на Янг-Милс, съответстващи на два тежки (струнни) оператора и един лек (супергравитационен). Калибровъчната теория е дуална на струнна теория във фоновото пространство $AdS_5 \times S^5$. Разгледани са различни граници и са възпроизведени резултати които не зависят от константата на връзка (т.нар. BPS оператори, които не се пренормират).

б) Намерени са многоточкови корелационни функции с два тежки и два и повече леки оператора по метода на вертексните оператори. Изследвани са техните свойства и интересни граници (например към BPS оператори) и е проверена тяхната валидност.

в) В последната част на 5-та глава са получени за пръв път бозонните логаритмично разходящи квантови поправки към корелаторите на струнните квазикласически състояния. Намерена е интересна и много нетривиална връзка между конформните аномални размерности на тежките оператори и структурните константи на корелационните функции.

г) В шеста глава са намерени корелационните функции в два случая на калибровъчни теории с по-ниска суперсиметрия. В първият случай се разглежда теория на Чърн-Саймънс с материални полета, чиято дуална струнна теория е дефинирана в пространство-време с геометрия на $AdS_4 \times CP^3$. Доказано е, че логаритмичната производна на аномалните размерности по константата на връзка задава структурните константи на корелационните функции. Вторият случай третира $N=1$ суперсиметрична теория която е дуална на γ -деформирана $AdS_5 \times S^5$ геометрия. Направен е анализ и получаване на корелационните функции по двата метода използвани в предишните изследвания.

Значимост на приносите за науката и практиката

Главната ценност на изследванията на докторанта се състои в третирането на непертурбативните теории в контекста на фундаменталната концепция за „холографска“ дуалност между струнна теория от една страна, и различни типове калибровъчни полени теории описващи физиката в подпространства на обемното многомерно пространство-време, от друга страна.

В категорията на теории попадащи в тази област са квантовата хромодинамика (силно свързани кварки, стълкновения на тежки йони, кварк-глюонна плазма, мезонни и барионни модели, квантова теория на полето при крайна температура), релятивистката хидродинамика (динамика на квантови вискозни флуиди) и физиката на кондензираните среди („холографски“ свръхпроводници, „холографски“ метали, квантов ефект на Хол).

Публикации и тяхното отражение в литературата

Дисертационният труд е основан на 7 публикации. Пет от тях са в най-реномирани списания с импакт-фактор както следва: две статии във *Physical Review D*, по една в *Journal of Physics A*, *International Journal of Modern Physics A* и *Fortschritte der Physik*.

Резултати са докладвани и публикувани в пълен текст в сборници трудове на две международни конференции.

В системата INSPIRE HEP в Станфорд досега са забелязани 48 цитирания на трудовете на Димо Арнаудов.

Считам, че дисертантът има равностоен и съществен принос във всичките му съвместни трудове с научния си ръководител. Основания за такова твърдение са декларациите от страна на самия научен ръководител.

Лични впечатления

Познавам Димо Арнаудов като отличен студент. Присъствал съм също и на работен семинар на Димо , откъдето също имам отлични впечатления.

Забележки

Нямам критични забележки по същество и по отношение на резултатите в исертацията. Единствено бих отбелязал някои правописни грешки в текста и някои незначителни езикови неточности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Няма съмнение, че приносите на дисертацията напълно отговарят и дори надвишават обичайните изисквания за присъждане на образователната и научна степен „доктор”.

Въз основа на казаното по-горе убедено препоръчвам на високоуважаемото жури да присъди на Димо Любомиров Арнаудов образователната и научна степен „доктор”.

28. 05. 2012 г.

проф. дфзн Стойчо Язджиев

София