

НАУЧЕН ОТЧЕТ

за първия етап на изследователски проект
по Договор ДФНИ Т-02/6 от 12.12.2014
тема "Нови парадигми за фундаменталната
структура на материята"

През отчетния период са публикувани или предстоят да бъдат публикувани общо **48** научни труда [1-48] на участниците в Договор ДФНИ Т-02/6 с Националния Фонд "Научни изследвания" съгласно работната програма (вж. приложения по-долу списък). Трудовете се разпределят както следва:

- (а) **20** публикации в списания с импакт фактор;
- (б) **7** публикации в списания без импакт фактор;
- (в) **9** публикации на доклади в пълен текст в трудове на международни конференции (proceedings), от които 6 са препринти, приети за печат ;
- (г) **1** дисертация за "доктор на науките";
- (д) **11** препринта в електронни архиви, предстоящи за публикуване.

I. ОСНОВНИ НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ

I.1. Цикъл от десет работи съдържа резултатите по задачи **2** и **10** от **Работната програма** за първия етап. Тези резултати могат да бъдат групирани по следните тясно свързани актуални тематика в съвременната теория на гравитацията и космологията:

(А) **Единно описание на еволюцията на ранната и "късната" (от съвременната епоха) Вселена - работи [20,23,29].** Тук е предложен нов клас модели на гравитация + материя в термини на две независими не-Риманови форми на обем върху пространство-времето многообразие. Първоначалното действие е построено така, че да бъде инвариантно относно глобални Вайлово-машабни трансформации. В резултат на динамично спонтанно нарушение на глобалната Вайлово-машабна симетрия и след преминаване към физическата Айнщайнова система намираме следните забележителни ефекти: (i) Получен е ефективен потенциал за "космологичното" скаларно поле („инфлатона“) с две безкрайно дълги плоски

области, което позволява единно описание както на ерата на "инфлация" в ранната вселена, така и днешната епоха на доминантност на "тъмната енергия"; (ii) За определена област на параметрите на модела намираме не-сингулярно решение на "изплуваща" вселена ("emergent universe"), което описва начална фаза на несингулярно - без "голям взрив"! - начало/раждане на вселената, която фаза предшества "инфлационната" фаза. Едно от главните достоинства на новия подход в космологията предложен в тези работи е предсказанието (при разумни минимални предположения) на стойностите на фундаментални за теорията на еволюцията на Вселената величини като енергийния мащаб на ерата на "инфлацията" и енергийния мащаб на съвременната епоха на доминантност на "тъмната енергия", които се потвърждават от неотдашните нашумели експериментални данни на голямата международна астрофизическа колаборация "Планк".

(Б) Обединително описание на динамиката на "тъмната енергия" и "тъмната материя" - работи [4,31,40,45]. С помощта на метода на не-Римановите (не зависещи от метриката) пространствено-времеви форми на обем е построен нов неканоничен космологичен модел на гравитация взаимодействаща с единствено скаларно поле, който дава в явен вид единно описание на "тъмната енергия" като динамично генерирана космологична константа, и "тъмната материя" като "прахообразен" флуид течащ по пространствено-времеви геодезически линии, обединявайки ги като точна сума от приноси в съответния тензор на енергията-импулса на скаларното поле. С други думи, това обединително описание показва, че "тъмната енергия" и "тъмната материя" във Вселената могат да се разглеждат като два аспекта на проявление на един единствен материален източник. Фундаментална причина за обединението на двата "тъмни" елемента на Вселената е присъствието на не-Римановата форма на обем в лагранжевото действия на скаларното поле, която: (i) динамично генерира космологична константа (плътността на "тъмната енергия") като свободна интеграционна константа в уравненията за движение на спомагателните калибровъчни полета дефиниращи не-Римановата пространствено-времева интеграционна мяра; (ii) води до наличието на забележителна скрита нелинейна Ньотерова симетрия, чийто асоцииран запазващ се ток е отговорен за "прахообразно"-флуидната природа на "тъмната материя". Също така е открита забележителна дуалност между гореописаната система от гравитация, взаимодействаща с единствено скаларно поле с неканонично лагранжево действие, от една страна, и специален тип квадратичен чисто кинетичен космологичен модел от известния клас "k-essence" ("quintessential inflation" models) в стандартния смисъл на дуалност като "слаба-срещу-силна-връзка".

В частност, нашият резултат обяснява причината за способността на кинетичните "k-essence" модели да описват приблизително обединението на двата "тъмни" елемента, като това описание става точно в граница на силната връзка в "k-essence" моделите, който граничен преход обаче не може да се извърши непосредствено, оставайки в рамките на динамиката на "k-essence". За тази цел е необходимо да се привлече дуалното съответствие с предложената от нас неканонична гравитационна теория, включваща не-Риманова интеграционна мяра в скаларното действие.

(В) Динамично спонтанно нарушение на суперсиметрията - работа [30]. Това е по-нататъшно развитие на предложения от нас качествено нов механизъм за динамично спонтанно нарушение на суперсиметрията - суперсиметричен ефект на Brout-Englert-Higgs. По-специално ние разглеждаме нова модифицирана формулировка на стандартната минимална $N=1$ супергравитация с помощта на въвеждане на не-Риманова форма на обем (общо-координатно-ковариантна мяра на интегриране) върху съответното пространствено-времево многообразие. Модифицираната формулировка се задава с помощта на допълнителни тензорни калибровъчни полета, които са "чисти" калибровки и не изменят физическите степени на свобода, като при това те се трансформират по подходящ начин относно суперсиметрията, така че суперсиметричната инвариантност се запазва. Тази нова формулировка естествено води до появата на динамично генерирана космологична константа като произволна интеграционна константа при решение на уравненията за движение за допълнителните гореспоменати тензорни калибровъчни полета. Наличието на динамично генерираната космологична константа именно означава спонтанно (динамично) нарушение на суперсиметрията. По-нататък, прилагайки същия формализъм към анти-де Ситерова $N=1$ супергравитация ние успяваме чрез подходящ избор на споменатата по-горе произволна интеграционна константа да получим едновременно много малка физически наблюдаема космологична константа заедно с много голяма наблюдаема физическа маса за гравитиното, точно както се изисква в съвременните космологични сценарии за бавно разширяващата се вселена от днешната епоха.

(Г) Електро-вакуумни гравитационни "чували" - работа [17]. Тук предложеният в **работи (А)** нов клас модели на гравитация + материя в термини на две независими не-Риманови форми на обем върху пространство-времето многообразие е разширен посредством включване на допълнително взаимодействие със специален нестандартен тип нелинейна електродинамика съдържаща квадратен корен от стандартния Максвелов лагранжиан за електромагнитното поле. Последната в плоско пространство-

време (при отсъствие на гравитация) описва "удържане" (confinement) на електрически товари аналогично на кварковото "удържане" в квантовата хромодинамика. В присъствие на гравитация (и скаларно "дилатонно" поле) намираме нови физически интересни ефекти: (i) нетривиална фазова структура - фази на "удържане" (confinement) на товари и фази на "освобождение" (deconfinement) на товари; (ii) възникване на електровакуумни гравитационни "чували" със свойства аналогични на известните "MIT bags" и солитонните модели на "съставните кварки" (constituent quarks) във феноменологичните теории на кварковото "удържане".

(Д) **Светоподобни пространствено-времеви "портали" (вселенски "тунели"/"червиеви дупки") = lightlike thin-shell wormholes - работа [32].** Протяжните обекти (струни и мембрани) и тяхната динамика са от първостепенно значение за изграждането на самосъгласувана съвременна теория на фундаменталните сили в природата. В серия наши предходни работи бе предложен принципно нов клас от мембранни теории, които се отличават съществено от стандартните мембранни теории от тип Намбу-Гото и задават самосъгласувано описание на т.н. светоподобни мембрани ("lightlike branes" или "lightlike thin shells"). Както е известно, светоподобните мембрани са от фундаментален интерес в общата теория на относителността, където те описват импулсивни светоподобни сигнали, пораждани от катастрофически астофизични събития. Те играят съществена роля при редица други важни космологични и астрофизични явления, в това число – в „мембранната парадигма” във физиката на черните дупки и в мембранния подход към проблема с гравитационните доменни стени. Светоподобните мембрани играят важна роля и в контекста на съвременната струнна теория на фундаменталните сили в природата.

Работа [32] е съществено развитие на предходни наши трудове, в които за пръв път в литературата е открит значим пропуск (след повече от 70 години) в класическата статия на Айнщайн и Розен от 1935 год., където е предложен знаменитият вселенски "мост на Айнщайн-Розен" (Einstein-Rosen "bridge") - исторически първият пример на "проходим" пространствено-времеви "портал" (traversable wormhole). Именно, ние показваме, че математически коректната формулировка на класическия "мост на Айнщайн-Розен" изисква на "портала" между двете вселени да бъде разположена специален вид "екзотична материя", която е светоподобна мембрана - частен пример от разработения от нас общ клас на светоподобни мембрани. Този резултат отсъства в класическата статия от 1935 год. Същественият прогрес в **работа [32]** се състои в явно построяване на разширението по Крускал-Пенроуз на пространствено-времето многообразие на "моста" на Айнщайн-Розен като

специфичен пример на "проходим" пространствено-времеви "портал" с едно "гърло". Този резултат след това е обобщен за случая на физически още по-интересен "проходим" пространствено-времеви "портал" от "тръбовиден" тип с две "гърла", т.е., две некомпактни вселени свързани чрез една средна "тръбовидна" вселена с краен пространствен размер. Двете "гърла" са заети от две противоположно електрозаредени светоподобни мембрани, при което целият електричен поток е "заклучен" в средната тръбовидна вселена между двете мембрани - ефект напълно аналогичен на "удържането" на кварките в квантовата хромодинамика.

I.2. Следващ цикъл от десет работи е свързан със **задача 1 от Работната програма** за първия етап на договора, която в процеса на работата естествено бе допълнена с решаване на проблеми от първостепенна важност за съвременната астрофизика и космология: „ $f(R)$ -гравитация, взаимодействаща с нелинейни калибровъчни полета –нови ефекти. компактни обекти в тези теории“.

Статия [7] е посветена на астеросеизмологичните съотношение за бързо въртящи се неутронни звезди, излъчващи гравитационни вълни. В частност, изучен е проблемът какви съотношения между параметрите на звездата (като маса, радиус, инерчен момент и ъглова скорост), от една страна, и честотите и времената на затихване на гравитационните вълни, от друга страна, трябва да се използват, за да можем да екстрахираме максимално точна информация от бъдещите наблюдения на гравитационни вълни, излъчени от осцилиращи неутронни звезди. Като добавка, тези съотношения трябва да са до голяма степен независещи от уравнение на състоянието на материята в недрата на неутронните звезди, тъй като текущата неопределеност в уравнение на състоянието при тези огромни плътност е голяма. Като резултат са изведени класове от астеросеизмологични съотношения и е показано, че те са особено подходящи за случая на супермасивни неутронни звезди (чиято стабилност се поддържа от въртенето и нямат стабилна невъртяща се граница), въртящи се с ъглова скорост близка до Кеплеровата (скоростта на откъсване на материя). Подобни модели са от изключителна важност, понеже при тях се наблюдават ротационни нестабилности, които могат да доведат до излъчването на силни гравитационни вълни. Показано е, че използвайки тези астеросеизмологични съотношение, параметрите на звездата могат да бъдат получени с голяма точност, използвайки бъдещите наблюдения на гравитационни вълни.

В статиите [5,8,9, 10] са построени модели на неутронни звезди в определен клас алтернативни теории на гравитацията и са разгледани техните астрофизични свойства. Ние сме се концентрирали върху така наречените

$f(R)$ теории на гравитацията, които са едни от най-интуитивните и широко използвани алтернативни теории. Тяхната популярност идва и от факта, че те се използват като алтернативно обяснение на тъмната енергия. Като първа стъпка е разгледан водещият член в $f(R)$ теориите, който има най-голям принос на астрофизични мащаби, а именно, така наречените R^2 теории на гравитацията.

Статията [10] е посветена на конструирането на модели на бързовъртящи се неутронни звезди в R^2 теориите. Създаден е числен код за пресмятането на тези модели и получените резултати са сравнени в детайли с общата теория на относителността. Трябва да отбележим, че това са едни от първите резултати за бързовъртящи се неутронни звезди в алтернативните теории на гравитацията. Конструирането на подобни модели е от изключителна важност поради факта, че както беше наскоро показано от нас, бързото въртене може да доведе до много по-съществени отклонения от общата теория на относителността в сравнение със статичния случай. Това се наблюдава и при получените решения в **работа [10]** – неутронните звезди, въртящи се със скорости близки до Кеплеровата (скоростта на откъсване на материя) се отличават съществено от общата теория на относителността. Това може да бъде използвано за проверката на $f(R)$ теориите на гравитацията, използвайки бъдещите наблюдения на компактни звезди.

В **статии [5,8,9]** са разгледани астрофизични приложения на неутронни звезди в $f(R)$ теориите на гравитацията с цел да бъдат изследвани възможностите за налагане на ограничения на режима на силни полета на гравитацията.

Редица модели дават директна връзка между орбиталните и епициклични честоти на частици, които се движат по кръгова орбита около компактни обекти, от една страна, и честотите на квази-периодичните осцилации (КПО), наблюдавани в рентгеновия спектър на някои пулсари и черни дупки, от друга страна. Очаква се, че тези КПО произхождат от вътрешния час на акреционните дискове, дълбоко в гравитационното поле на компактните обекти. Поради тази причина, КПО могат да бъде отличен инструмент за тестване на гравитацията в режим на силни полета и следователно за тестване на алтернативни гравитационни теории. В **статията [5]** са изследвани орбиталните и епициклични честоти на частици, движещи се по кръгови орбити около компактни звезди в R^2 теория на гравитацията и е направено подробно сравнение със случая на общата теория на относителността. Резултатите сочат, че разликите между двете гравитационни теории могат да достигнат 20%.

В статията [8] е изследвано поведението на съотношения между нормализираните момент на инерция (I) и квадруполния момент (Q) за въртящи се неутронни звезди в общата теория на относителността. Тези отношения станаха доста популярни наскоро, защото се оказва, че след подходяща нормализация те могат да станат практически независими от уравнение на състоянието на материята. Едно от приложенията им е да бъдат използвани за тестване (или ограничение) на възможните отклонения от общата теория на относителността. Това е важно, тъй като в редица случаи ефектите от алтернативните теории на гравитацията са качествено и количествено сходни с ефектите дължащи се на неопределеността в уравнение на състоянието на материята при много високи плътности. Резултатите показват, че нормализираните I-Q зависимости в R^2 теориите на гравитацията остават почти независими от уравнение на състоянието, сходно с общата теория на относителността. Най-интересният резултат в **работа [8]** обаче е, че разликите с теорията на Айнщайн могат да бъдат големи, достигайки над 20%. Това е качествено различно от повечето алтернативни теории на гравитацията, където нормализирани I-Q зависимости са почти неразличими от общата теория на относителността, и може да бъде използвано за наблюдателни ограничения на $f(R)$ теориите.

Статия [9] е посветена на астеросейсмологичните съотношения за неутронни звезди в $f(R)$ теория на гравитацията. Разгледани са фундаменталните f -моди на осцилации, които са едни от най-обещаващите източници на гравитационни вълни и са изследвани разликите с общата теория на относителността. Построени са няколко различни класа астеросейсмологични съотношения с цел по-голяма пълнота на резултатите. Основната цел е да определим до каква степен тези отношения са независими от уравнение на състоянието и дали отклоненията от общата теория на относителността са достатъчно големи, за да могат да се наблюдават на практика. Резултатите показват, че разликите между общата теория на относителността и R^2 теориите не са големи, в рамките на 10% и следователно няма да могат да бъдат наблюдавани със следващото поколение детектори на гравитационни вълни. От друга страна малките отклонения в някои от астеросейсмологичните съотношения показват, че тези съотношения са не само независими от уравнение на състоянието, но също така не са силно чувствителни и към използваната теория на гравитацията. Ето защо параметрите на звездата могат да бъдат екстрахирани от наблюдаваните гравитационни вълни (т.е. да бъде решена обратната задача) с доста голяма точност, независимо от наличието на редица неопределености.

В **статията [47]** е показано, че моделите на неутронни звезди в отправните системи на Айнщайн и Йордан са еквивалентни както математически, така и физически. За целта са изведени съответните полски уравнения в отправна система на Йордан, решени са числено и получените резултати са сравнени с по-ранните ни резултати, където е използвана отправната система на Айнщайн. Резултатите в двете отправни системи съвпадат напълно. Също така са опровергани и някои грешни твърдения в литературата относно отправните системи на Айнщайн и Йордан.

За първи път в **статия [11]** е формулирана и доказана теоремата за единственост на статичните решения на уравненията на Айнщайн със скаларно поле притежаващи фотонна сфера в асимптотически плоско пространство-време. Изведени са фундаментални неравенства за тензора на кривината и гравитационните потенциали за фактор пространството по групата генерирана от времеподобния килингов вектор.

В **статия [16]** е формулирана и доказана важна теорема за структурата и свойствата на вътрешната и външната геометрия на фотонните сфери. Изведени са също и важни за астрофизиката съотношения между геометричните и физичните характеристики на фотонните сфери. Формулирана е и е доказана теоремата за единственост в присъствие на фотонни сфери.

Статията [41] е посветена на класификацията на всички статични и асимптотически плоски решения на уравненията на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация. Формулирана е и е доказана централната класификационна теорема. Доказана е и важна теорема за скаларната кривина и външната кривина на фотонните сфери. Изведено е алгебричното уравнение за определяне на фотонните сфери в астрофизичните приложения. Изведени са и неравенствата за физичните характеристики на фотонните сфери. Детайлно са изучени свойствата на фотонни сфери в серия от междинни резултати, използвани в централното доказателство на класификационната теорема.

Статията [39] е посветена на изучаването на възможностите за обяснение на гличовете при млади пулсари (внезапно увеличение на честотата на въртене на пулсара), използвайки алтернативните теории на гравитацията. Предполага се, че гличовете се дължат на обмен на ъглов момент между кората и вътрешността на звездата. Но изследванията показват, че инерчният момент на кората не е достатъчен, за да обясни гличовете. Тези оценки, обаче, използват общата теория на относителността. Като се има предвид, че

гравитационното поле в кората на неутронната звезда е много силно, е възможно ефекти, идващи от модификациите на общата теория на относителността, също да играят важна роля. В тази статия са разгледани ефектите, идващи от скаларно-тензорните теории, както и $f(R)$ теории на гравитацията. Резултатите показват, че в определени случаи инерчният момент на кората може да се отличава значително от общата теория на относителността, но това се наблюдава при маси по-големи от стандартните наблюдавани маси на пулсари, прегърпели гличове. Поради тази причина, разгледаните алтернативни теории на гравитацията не могат да обяснят проблема с ъгловия момент на тези пулсари. Остава отворен въпросът, обаче, дали други алтернативни теории могат да бъдат използвани за обяснението на този проблем.

1.3. Следващ цикъл от **три работи [3,12,46]** също съдържа резултати по **задача 1**. Работи [3,12] са посветени на определен клас точни решения на уравненията на Айнщайн, известни като деформирани черни дупки. Такива решения се прилагат за описанието на квази-стационарни системи от черни дупки и гравитираща материя. Тяхното разглеждане се мотивира от факта, че астрофизичните кандидати за черни дупки не са изолирани обекти, а взаимодействат с определен тип материя, като акреционни дискове и звездни компоненти в двойни системи. Описанието на подобни конфигурации чрез точно решение обикновено е твърде тежка задача, но е възможен следният подход. Намира се локално точно решение, което описва определена област от пространство-времето в околност на хоризонта на черната дупка. Това решение е най-често вакуумно или електровакуумно. Намира се второ локално решение валидно във външността на разглежданата област, което описва материалните обекти взаимодействащи с черната дупка. Съшиването на двете решения върху подходящо подбрана хиперповърхнина води до конструирането на глобално решение, описващо пълната система от черна дупка и външна материя. Въпреки че външното решение е възможно да бъде приближено или дори числено, този подход позволява да се изследват свойствата на пространство-времето в околност на хоризонта на черната дупка чрез точно решение.

Това локално решение се нарича деформирана черна дупка, тъй като под въздействие на външната материя хоризонтът на събитията се деформира спрямо този на съответния изолиран обект.

В рамките на тази тематика сме получили следните резултати. В **работа [12]** е конструирано първото точно решение описващо въртяща се деформирана черна дупка при наличието на допълнително измерение на

пространство-времето. Решението е получено чрез прилагане на дву-солитонна трансформация на Беклунд върху подходящо подбрано зародишно решение. Изследвани са някои физически характеристики на решението, като маса и ъглов момент и са съпоставени с тези в изолирания случай. Съотношението на Смар остава валидно, но се наблюдава качествено различно поведение на параметъра на въртене. За разлика от изолирания случай той може да расте неограничено, без това да доведе до формирането на гола сингулярност.

В работа [3] са изследвани някои основни свойства на деформираната черна дупка на Кер при определени симетрии на външната материя. Разгледано е поведението на ергообластта, наличието на сингулярности извън хоризонта на събития и поведението на скаларните инварианти на кривината върху хоризонта. Показано е, че при наличието на външна материя ергообластта има качествено нов вид. Реализират се два типа конфигурации – едносвързана ергообласт, която се простира до границата на валидност на решението, или многосвързана ергообласт, състояща се от компонента, асоциирана с черната дупка, и компоненти свързани с външната материя. За разлика от изолираната черна дупка на Кер, не съществува пропорционалност между площта на ергообластта асоциирана с черната дупка и параметъра на въртене. В случаите, когато се наблюдават сингулярности извън хоризонта на събития, те са разположени върху границата на ергообластта, породена от външната материя. Отново е възможно параметърът на въртене да приема произволно големи стойности, без да се формира гола сингулярност.

В работа [46] се разглежда клас от точни решения в рамките на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация, описващи въртящи се заредени черни дупки. Решенията са получени в резултат на прилагане на Калуца-Клайн трансформация върху съответното вакуумно решение. Изследвани са връзките между физическите характеристики на вакуумното и зареденото решение (маса, ъглов момент, заряд, електромагнитни потенциали) и са изведени определени общи съотношения. Разгледани са няколко конкретни точни решения, принадлежащи към дадения клас, които описват конфигурации от заредени черни дупки с различна топология на хоризонта и гравитационни инстантони.

I.4. Следващ цикъл от девет работи е посветен на **задача 3 от Работната програма** за първия етап. Изследванията на калибровъчните теории при силна константа на връзката са изключително сложни поради

липсата на ефективен директен подход. Най-успешният засега подход е чрез изследване на дуалните теории и пренасяне на резултатите в изходната теория по дуалност. За постигане на поставените цели, а именно корелационните функции, е нужно да се изследват и пресметнат редица свойства и характеристики на дуалността между суперструни и калибровъчни теории.

Един от най-важните въпроси във всяка конформна полева теория е триточковата корелационна функция. Поради конформната симетрия, останалите корелационни функции биха могли по принцип (въпреки, че това е много нетривиална задача) да бъдат намерени от нея.

В **работа [1]** е изведена 3-точковата корелационна функция за две тежки струнни състояния от тип гигантски магнони и лекия дилатонен оператор с нулев импулс в η -деформираното пространство-време $AdS_5 \times S^5$, валидно за всички стойности на запазващия се струнен ъглов момент J и на деформационния параметър η в квазикласическа граница. Показано е, че този резултат удовлетворява едно условие за съвместимост между 3-точковата корелационна функция и конформната размерност на гигантския магنون. Водещите корекции, съответстващи на голямо J , също са получени.

В **работа [6]** са пресметнати триточковата корелационна функция за два “струнни” оператора в контекста на пулсиращи струни, и един “гравитационен, използвайки холографската дуалност с калибровъчните теории. Тези корелационни функции съответстват на оператори при силна константа на връзката в теория на Янг-Милс с $N=4$ суперсиметрия.

В **работа [18]** са пресметнати някои триточкови корелационни функции в η -деформираното пространство-време $AdS_5 \times S^5$ в рамките на квазикласическия подход. Това е направено за случаите, когато „тежките” струнни състояния са гигантски магнони с краен размер с един ненулев ъглов момент и за три различни избора на „лекото” състояние: първични скаларни оператори, дилатонен оператор с ненулев импулс, синглетни скаларни оператори върху възбудени струнни нива.

В **работа [37]**, представляваща пълният текст на дисертация за получаване на научната степен "доктор на науките", са представени част от изследванията, свързани с динамиката на p -брани и Dp -брани, дуалността между струнните теории/ M -теорията и (конформните) полеви теории, както и някои квазикласически резултати за триточкови корелационни функции, отчитащи влиянието на крайния размер.

Друг клас от проблеми са посветени на идентифициране на дуалните физически наблюдаеми величини. Изследванията отразени в работи [26,27,38] . В тези работи за пръв път се конструират модели на мезони в специфичен гравитационен фон – фон на Пилх-Уорнър.

Мезоните в този подход (**работа [27]**) се конструират с помощта на влагане на високо-мерни мембрани в гравитационния фон. Дуалната калибровъчна теория която искаме да изследваме съдържа частици от тип мезони. Флуктуациите на тези мембрани пораждат възбуждания, които в дуалната полева теория съответстват на спектъра на мезоните. Изследваните скаларни флуктуации водят до отместване в основните състояния, което е нов ефект в подобни изследвания. Намирането на тези отмествания е възможно благодарение на конструираните с използване на глобални координати. Резултатите са много важни за по-нататъшното развитие на холографското съответствие и изучаването на калибровъчните теории при силна константа на връзката. Те са сред малкото работи правещи първи стъпки в холографското съответствие при по-ниска или нарушена суперсиметрия.

Аномалните размерности на операторите в дадена конформна полева теория са едни от основните величини необходими за пресмятането на корелационните функции. Тъй като не разполагаме с методи за тяхното пресмятане при силна константа на връзката, (основно) в **работа [26]** е използвана дуалността между струни и калибровъчни теории. На базата на модела, развит основно в **работа [27]** са пресметнати аномалните размерности на мезонните оператори при силна константа на връзката. Намирането на спектъра на аномалните размерности е от изключителна важност при определянето на физически релевантните оператори и пресмятането на корелационните функции.

За коректното построяване на дуалността в моделите, използвани в работи [26] и [27], е необходимо да се удовлетворява стриктно така наречената капа-симетрия при влагането на Д7-браните в моделите. В **работа [38]** (основно) са намерени капа-симетричните влагания, което е сложна и трудоемка задача дори в далече по-прости конструкции.

Гравитационният/струнният фон на Пилх-Уорнър е един от най-близките от разглежданите до този момент в литературата до Квантовата хромодинамика, описваща силните взаимодействия в природата. Това обуславя и големият интерес към този тип задачи.

Дуалностите понастоящем са единственият надежден подход към теориите със силна константа на връзката. Разширяването на кръга от дуални теории е от голяма важност в това направление. В последните няколко години има значителен прогрес по отношение на така наречената неабелева Т-дуалност. Това е една сложна конструкция от преобразования на струнния сигма-модел, водеща до нови дуални теории. В **работа [43]** е конструирана неабелева Т-дуалност на струнния сигма-модел в гравитационен фон на Пилх-Уорнър. Полученият сигма модел е нов и неговите свойства тепърва ще бъдат изследвани в детайли. Резултатите от тези изследвания представляват първи етап от изследвания, чиито втори етап включва приближение на паралелни планарни вълни. Намерените основни характеристики на дуалните оператори и някои корелационни функции ще бъдат отразени в предстояща публикация. Един от резултатите в тази работа е получаването на един от рядко срещаните ефекти на динамично нарушение на киралната симетрия в теории от тип ПА. Тези изследвания са в изпълнение на **задача 14** от проекта.

Топологичните дефекти във физиката на високите енергии са непертурбативни решения, които определят основните свойства на теорията. Един широк и много важен клас от такива решения представляват така наречените вортекси. Глобалните/макро вортексни решения, или т. нар. космически струни са изключително важни в съвременната космология. От друга страна, в микроскопичен план те дават редица свойства на моделите в калибровъчните теории. Бидейки топологични по природа, те са много ефективен обект за изследване, както при слаба, така и при силна константа на връзката. В изпълнение на **задача 3** са изследвани основни свойства на дуалността между калибровъчни теории и суперструни при наличие на вортексни решения (виж **работа [24]**). Направена е хипотеза за вида на производящия функционал на свързаните корелационни функции за определен тип вортекси при произволна константа на връзката. В подготовка е и нова публикация по темата с много допълнителни резултати.

I.5. Следващ цикъл от три работи е в изпълнение на **задача 15** от плана за първата година и е посветен на изучаването на силно-взаимодействащи калибровъчни теории с непертурбативните методи на калибровъчно-гравитационната дуалност. В **работа [15]** са намерени нови класове решения в ПВ супергравитацията, които са релевантни за изучаването на силно-взаимодействащия режим на определени калибровъчни теории в пространство на де Ситер. Това е от значение заради наличието на положителна космологична константа във Вселената. В **работа [25]** е разгледана модификация на решенията на **[15]**, която отваря възможност за

построяване на дуални гравитационни описания на модели на космологична инфлация от глоболен вид (т.е., модели в които инфлатона е глоболно състояние в силно-взаимодействащ сектор). В работа [48] е построено дуално описание на глоболен инфлационен модел, чиито инфлатон е в режим на така наречено "ултра-бавно търкаляне". Този режим може да допринесе за обясняване на наблюдаваната аномалия в спектъра на СМВ при ниски стойности на мултиполния момент.

I.6. В работа [2], съдържаща резултати по **задача 8 от Работната програма** за първата година, са конструирани основни величини за клас представяния на 2-мерна конформна теория с висок ранг – Тода теория, със симетрия W алгебра, която се получава с редукция от афинната $sl(4)$ Кац-Муди алгебра. Построените 3-точкови корелатори са изследвани в класическата граница на леки товари като вариант на струнна реализация на т.н. BPS полета в дуалната калибровъчна $N=4$ суперсиметрична 4-мерна теория в рамките на AdS_5/CFT калибровъчно/гравитационното съответствие. Построена е фундаментална сплитаща матрица за скаларни представяния, която би намерила приложение в изследване на квазикласическото поведение на 3-точкови функции за тежки товари в суперсиметрични сигма модели.

Също по по **задача 8** бе изследван проблемът за намиране на бета функциите и аномални размерности в пертурбирани двумерни конформни теории. Те описват интегрируеми двумерни теории съответстващи на поток на ренормгрупата или на еластично разсейване на масивни частици. Проблемът е в намирането на нетривиални поправки във втори порядък, които по принцип са неуниверсални и зависят от схемата на пренормировка. В този случай са намерени матриците на смесване за определени полета в специфични двумерни теории. Последните могат алтернативно да бъдат пресметнати чрез т. нар. конструкция на “доменна стена” (domain wall), която дава непертурбативен резултат за матриците на смесване. Сравнението на двата резултата би било важно за проверка и на двете. По тези резултатите се подготвя публикация.

В изпълнение на **задача 5** от Работната програма беше изследвана зависимостта на коефициента на Зийбек (Seebeck) за Холовото състояние с $\nu_H = 5/2$ от температурата, потока на Ааронов-Бом и потенциала на гейта на едно-електронен транзистор, формиран от два квантови точкови контакта в силно корелиран двумерен електронен газ. Използвани бяха методите на конформната квантова теория на полето за определяне на проводимостта и коефициента на Зийбек (Seebeck) в режим на последователно тунелиращи

електрони (sequential tunneling) в геометрия на едно-електронен транзистор. Получените теоретични резултати, публикувани в статия [13] показват, че профилът на коефициента на Зийбек при изменение на потенциала на гейта на едно-електронния транзистор е изключително чувствителен към неутралните степени на свобода на Холовите състояния и сравнението с експерименталните данни за този коефициент, които предстои да бъдат измерени, могат наистина да покажат дали Холовото състояние с фактор на запълване $\nu_H = 5/2$ се намира в класа на универсалност на Пфафовия модел, анти-Пфафовия модел или модела 331. Ако сравнението с експеримента покаже, съвпадение с Пфафовия модел или анти-Пфафовия, то неабелевата брейд-статистика на квазичастичните възбудени състояния би могла да се използва за физическата реализация на квантов компютър с топологическа защита на информацията и нейната обработка.

В допълнение към поставената задача и като нейно обобщение бяха изследвани термоелектрическите характеристики на Кулонови острови или квантови точки, подобни на едно-електронните транзистори, този път за цялата серия от парафермионни Холови плати с фактори на запълване $\nu_H = 2+k/(k+2)$. Получените резултати, които са публикувани в [14], показват, че и в този по-общ случай профилът на коефициента на Зийбек, и по-специално на т.нар., „power factor“, са достатъчно чувствителни към неутралните степени на свобода и могат евентуално да бъдат използвани за експерименталното потвърждение за съществуването на неабелева брейд-статистика на квазичастиците.

Работа [21] също съдържа резултати по **задача 5 от Работната програма** за първата година. Тя проследява подробно развитието както на идеите, така и на опитната проверка на известния мислен експеримент на Айнщайн-Подолски-Розен (1935), преформулиран по-късно в термини на дискретни (спинови) променливи от Дейвид Бом. Възникналата "философска дискусия" между Н. Бор, А. Айнщайн и Е. Шрьодингер получава по-късно, благодарение на Джон Бел, проверяема физична формулировка. Нарушаването на неравенствата на Бел при квантови преплетени състояния отхвърля възможната класическа интерпретация със скрити параметри. В статията е предложен подобрен извод на теоретичната постановка, както и обзор на развитието на съответните експерименти, кулминиращи в прецизните опити на Ален Аспе. Значението на тази област на квантовата физика е подчертано от Р. Файнман, който обръща специално внимание върху възникващата възможност за създаване на квантов компютър.

Работа [19] съдържа резултати по **задача 11 от Работната програма** за първата година. Стандартната квантова механика разглежда два типа частици – бозони и фермиони и съответните квантови статистики – Бозе-Айнщайн и Ферми-Дирак статистики. Грийн обобщава тези статистики през 1953г., въвеждайки т.н. парафермионни и парабозонни статистики. Парастатистиките са формулирани и на алгебричен език в термини на генератори и релации. Операторите на парафермионната статистика (на m двойки) са генериращи елементи на ортогоналната алгебра на Ли $so(2m + 1)$. Аналогично, n парабозонни оператора са генериращи елементи на ортосимплектичната алгебра на Ли $osp(1|2n)$. Смесена система от парафермиони и парабозони с т.н. относителни парафермионни релации е също свързана с математична структура: тя съответствува на супералгебрата на Ли $osp(2m+1|2n)$. Дали сме точно и елегантно построение на клас от унитарни безкрайномерни неприводими представяния на $osp(2m+1|2n)$, заедно с матричните елементи на генераторите на алгебрата, съответстващи на такава смесена система от парабозони и парафермиони. Тази конструкция разкрива и тегловата структура на тези представяния и като резултат са получени важни формули за характеристиките.

Работа [36] съдържа резултати по **задача 12 от Работната програма** за първата година. Изследван е клас от неканонични, нерелативистки тримерни осцилатори с оператори на координатите и импулсите генериращи супералгебрата на Ли $osp(3|2)$. Пространствата на състоянията им са безкрайномерни неприводими представяния на $osp(3|2)$. Изследвани са физичните свойства на тези системи. Спектърът на енергията е положителен, координатите са некомутативни. Осцилаторите могат да имат най-много три различни стойности на ъгловия момент. Съществено ново свойство на $osp(3|2)$ осцилатора е, че ъгловият му момент може да приема полуцели стойности, в частност $\frac{1}{2}$.

Трудове [20,26,44] съдържат резултати по **т. 9 от Работната програма за първия етап на договора**. Продължи работата по конструирането на диференциални оператори за различни некомпактни полупрости групи на Ли. В **работа [44]** е направена мултиплетната класификация на приводимите представяния на конформната група, индуцирани от максималната къспидална подгрупа. **Тази индукция почти не е разглеждана в литературата** - стандартно се индуцира от максималната не-къспидална подгрупа. **Работа [20]** е кратък обзор на резултатите на тази програма.

Продължи работата по изучаване на представянията на супералгебрата $osp(1/2n, R)$. Направена е хипотеза за **списъка на неприводимите унитарни представяния с положителна енергия (Теорема на Dobrev-Zhang-Salom)**, която е доказана за случая $n=3$ (за $n=1,2$ резултатът е известен от по-рано) и е скицирано доказателството за общия случай в **работа [26]**.

Също **по задача 9** е разгледана двуточкова функция, ковариантна спрямо нестандартно представяне на конформната алгебра в двумерно пространство $conf(1,1)$, от което нерелативисткият преход се извършва чрез проста контракция, за да се получи конформната алгебра на Галилей. Доказваме, че двуточковата функция има адекватна за физически приложения форма, ако се изведе от ковариантността спрямо дуалното представяне на $conf(1,1)$, получено чрез разширение на Картановата подалгебра и последваща Фурие трансформация на квази-първичните полета спрямо параметъра на алгебрата γ , обозначаващ „бързината“ и след това се направи обратната Фурие трансформация. Получените резултати са в процес на подготовка за публикация.

Работи [34,35] съдържат резултати по проблеми от **задача 13 от Работната програма** за първата година. Физически обоснованото и математически строго отстраняване (пренормировка) на ултравиолетовите разходимости, присъщи на всяка квантова теория на полето, е една от основните парадигми във физиката на елементарните частици от зората на нейното съществуване. Причинният подход към ултравиолетовите пренормировки във формализма на конфигурационното пространство, предложен за пръв път от Епщайн и Глазер, интересът към който активно се възроди в последните години - както в теоретичната физика, така и във фундаменталната математика - е най-строгийт и концептуално завършен подход за построяване на модели на взаимодействащи квантови полета в рамките на теория на пертурбациите в ред по константи на връзки. Представени (в **работи [34,35]**) са оригинални математически дълбоки резултати свързани с т.н. причинна факторизация, пренормировка на т.н. асоциирани хомогенни разпределения (обобщени функции), пренормировка на примитивно разходящи Файнманови диаграми и по-общо - систематична теория на пренормировките в конфигурационно пространство на Файнманови амплитуди в теории на безмасови квантови полета. В частност, доказано е отсъствие на инфрачервени разходимости в амплитудите на последните теории извън масовата повърхност.

По задача 13 бяха изследвани също нови алгебрични структури, които се явяват общи за теорията на вертексните алгебри и теория на

пренормировките. Последните две области от квантовата теория на полето са едни от технически най-сложните и намерената структура на операд в тях извлича в чист вид главните математически проблеми, като заедно с това предлага и мощен метод за тяхното решаване. Получените резултати са докладвани на международни форуми (П.А.(3) и П.Б.(9)) и са в процес на подготовка за публикации в поредица от работи, една от които вече е изпратена.

Работа [42] също съдържа резултати от изследване по **задача 13**. За конформни теории на полето съществува изключително удобно координатно описание, известно като компактна картина. Използването на компактната картина в голяма степен улеснява построяването на пертурбативна квантова теория на полето, но е неприложимо за полеви теории с нарушена конформна инвариантност след квантуване. Все пак, за определени класически суперконформни полеви теории (като, например, $N=4$ супер Янг-Милс) е доказано че са пертурбативно конформно инвариантни, което прави възможно тяхното построяване в компактна картина. В [42] правим геометричното обобщение на компактната картина за случая на полеви теории с разширена суперконформна симетрия, като важна стъпка към решаване на отворения проблем за конструиране на Хилбертово пространство за суперконформни теории на полето.

Резултатите, получени в **работа [33]**, отговарят на **задачата**, формулирана в **т.6 от Работната програма** за първия етап на договора. Те имат отношение към въпроса за „вътрешната“ симетрия на определени модели на двумерната квантова теория на полето. Показано е, че представянето на симетрия от типа на динамична квантова група се описва в термини на интересна съвкупност от диаграми на Юнг. Една от причините за интереса към областта е в нейното потенциално приложение към квантовите компютри.

По **задача 7 от Работната програма за първия етап** са проведени следните изследвания. Висшите произведения на хомотопни алгебри се изразяват на езика на инвариантите на представяния. Тези инварианти могат да се мислят като варианти на симетричните полиноми, записани с некомутиращи променливи. Интересна задача е да се напишат некомутативни обобщения на симетричните полиноми в термини на подалгебрата $D_q(n)$, затворена от диагоналните елементи в некомутативната алгебра на регулярните функции върху квантовата група $GL_q(n)$. Кроб и Тибон изказват хипотезата, че $D_q(n)$ е кубична алгебра, т.е. идеалът от съотношения е породен от кубични съотношения. Тази хипотеза е доказана за произволна

размерност n (резултатът все още не е публикуван). Доказателството почива върху еквивалентността на Морита между представянията на алгебрата на Хеке и квантовата група $GL_q(n)$, която от своя страна се оказва преформулиране на квантовата дуалност на Шур-Вайл. Кубичните съотношения на $D_q(n)$ са уравненията на Янг-Бакстер, написани в нови променливи. Понастоящем се подготвят 2 публикации по тази тематика.

Задача 4 има за цел подготовката на докторанти и млади учени за работа в областта на тематиката на проекта. Изнасянето на цикъл лекции както в страната, така и чужбина, имаше също така за цел и разпространение на резултатите, получени по съответните задачи. За изпълнението на тази задача е подготвен курс с лекционен материал на английски език [Л1]. Лекциите са четени във Физическия факултет на Софийския университет. Лекционният курс (или части от него) са четени във Виенския технологичен университет и института НОРДИТА – Стокхолм, Швеция.

II. РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

A. Основните резултати са докладвани на следните международни конференции през 2015 год.:

- (1) 3rd Caribbean Symposium on Cosmology, Gravitation, Nuclear and Astrophysics (STARS-2015), Havana, **Cuba** (Е. Нисимов & С. Пачева);
- (2) Karl Schwarzschild Meeting (KSM-2015), Frankfurt am Mein, **Germany** (Е. Нисимов & С. Пачева);
- (3) XI-th International Workshop "Lie Theory and Its Applications in Physics", Varna, **Bulgaria** - 11 доклада (И. Тодоров (*пленарен*), Е. Нисимов, С. Пачева, П. Божилов, Л. Ангелова, Л. Георгиев, Л. Хаджииванов, Н. Николов, Т. Попов, С. Стоименов, А.Ганчев);
- (4) "Integrable Systems and Quantum Symmetries" - ISQS-23, Prague, **Czech Republic** (В. Петкова, *пленарен*);
- (5) "Supersymmetries and Quantum Symmetries" - SQS'2015, Dubna, **Russian Federation** - 3 пленарни доклада (В. Добрев, И. Тодоров, В. Петкова);
- (6) 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union, Istanbul, **Turkey** (Н. Стоилова);

(7) 20th International Workshop on *Quantum Systems in Chemistry Physics and Biology*, September 14, 2015, Varna, **Bulgaria** (И. Тодоров);

(8) Humboldt Kolleg “*Open Problems in Theoretical Physics: the Issue of Quantum Spacetime*”, September 20, 2015, Corfu, **Greece** (И. Тодоров);

(9) (Non-)Universal Properties of Neutron Stars, May 2015, Bremen, **Germany** (С. Язаджиев)

(10) IX International Symposium “*Quantum Theory and Symmetries*”, 13-18.7.2015, Yerevan, **Armenia** (В. Добрев)

(11) International Conference on *p-Adic Mathematical Physics and Its Applications*, 7-12.9.2015, Belgrade, **Serbia** (В. Добрев)

(12) International Workshop on *Noncommutative Field Theory and Gravity*, 21-27.9.2015, Corfu, **Greece** (В. Добрев)

(13) “*Fourteenth Marcel Grossman Meeting on General Relativity – MG14*”, 12-18 July 2015, Rome, **Italy** (П. Недкова)

(14) International Conference “*Particles, Strings and Cosmology*” (PASCOS), Trieste, **Italy**, 29.06.2015-03.07.2015 (Л. Ангелова)

(15) International Workshop “*Groups and Rings, Theory and Applications*”, Sofia **Bulgaria**, 2015 (Т. Попов)

(16) The 2015 European School of High-Energy Physics, Bansko, Bulgaria, 2 - 15 September 2015.: постер на тема „Non-Abelian T-Duality and string theory, “ S. Mladenov, R. C. Rashkov, T. Vetsov.

и на национални научни мероприятия:

(1) Matey Mateev Symposium in commemoration of 75th Anniversary (ММ-15), Sofia University, Sofia, **Bulgaria** - **6 доклада** (И. Тодоров, Е. Нисимов, В. Добрев, Р. Рашков, Л. Ангелова, Ц. Вецов).

(2) Сто години физика на пространство времето, Физически факултет на СУ, София, ноември 2015 г.: „„Представяния на групата на Поанкаре“ - Ц. Вецов.

(3) Двудневен теоретичен семинар проведен изцяло от участниците в проекта, декември 2015 г., Пловдивски университет: „Въведение в теорията на суперструните“ - Ц. Вецов, С. Младенов.

Б. Доклади на специализирани академични семинари по теоретична физика в:

(1) Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva (Israel) - *2 доклада* (Е. Нисимов, С. Пачева);

(2) Institut de Physique Theorique, Saclay (France) (В. Петкова);

(3) Department of Applied Mathematics, Computer Science and Statistics, University of Ghent, Ghent (Belgium) (Н. Стоилова);

(4) Theoretical Astrophysics, Department of Physics, University of Tuebingen, Germany (С. Язаджиев)

(5) Department of Mathematics, University of Tuebingen, Germany (С. Язаджиев)

(6) Theoretical Astrophysics, Department of Physics, University of Tuebingen, Germany (Д. Донева)

(7) Center for Research & Development in Mathematics and Applications, University of Aveiro, Portugal (С. Язаджиев)

(8) Institute for Theoretical Physics, University of Leipzig, Germany (С. Язаджиев)

(9) Семинар към Математическия департамент на Университета на Женева, (Н. Николов)

(10) Institute colloquium talk, Vienna University, March 2015: - Н. Dimov, R. C. *Rashkov*.

(11) Institute for theoretical Physics, Vienna University of Technology, May 2015: (R.C. *Rashkov*)

(12) NORDITA, Stockholm, Sweden (R.C. *Rashkov*)

(13) Department of Physics, University of Swansea, UK, 06.02.2015 (Л. Ангелова)

(14) Theory Group, National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania, 11.12.2015 (Л.Ангелова)

(15) Koç University - Science Department, Istanbul, Turkey (Т. Попов)

(16) ИЯИЯЕ-БАН, София - **5 доклада** (И. Тодоров, Т.Попов, Е. Нисимов)

(17) Институт по математика и информатика – БАН (Т. Попов)

В. Лекции по покана в чуждестранни университети и акад. центрове:

(1) **I. Todorov**, *Perturbative quantum field theory meets number theory*, ICMAT, Madrid lectures, submitted to: *Periods in Quantum Field Theory and Arithmetic*, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics (2016).

(2) **I. Todorov**, *Relativistic causality and position space renormalization* (10 pages), posted at the Raymond Stora Memorial meeting, CERN, December 4, 2015

(3) **I. Todorov**, *Quantum entanglement*, Lecture at Koc University, Istanbul, Turkey, March 24, 2015.

(4) **V.K.Dobrev**, “*Group-theoretical methods with applications to CFT*”, course of 3 lectures, October 2015, SISSA, Trieste, Italy.

(5) **R.C. Rashkov**, „String theory and AdS/CFT correspondence“, ITP, Vienna University of Technology, Austria. [Л1]

(6) **R.C. Rashkov**, „Fisher-Hitchin information metric, entanglement and holography“, ITP, Vienna University of Technology, Austria.

(7) **R.C. Rashkov**, „Brane embeddings, baryons and other issues in AdS/CFT correspondence“, NORDITA, Stockholm, Sweden

(8) **Т. Попов**, лекции по “*Математични Методи на Физиката*” в African University of Science and Technology, Abuja, Nigeria + един защитил дипломант на тема "Elementary Scattering Processes "

Г. Защитени или предстоящи за защита дисертации по тематиката на Договора:

(1) **Пламен Божилов** – защитена дисертация за получаване на научната степен „доктор на науките“ на тема "*P-Branes Dynamics, AdS/CFT and Correlation Functions*".

(2) **Людмил Хаджииванов** – предстояща за защита дисертация за получаване на научната степен „доктор на науките“ на тема „*Двумерна квантова теория на полето и квантови групи като обобщени калибровъчни симетрии*“ (предварителна защита проведена на 24.9.2015 г.). [Д1]

Д. Международно Сътрудничество

(1) Prof. Eduardo Guendelman (Dept. Physics, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel)

(2) Prof. Ramon Herrera (Instituto de Física, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile)

(3) Prof. Pedro Labrana (Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad del Bío-Bío, Concepcion, Chile)

(4) Prof. Changrim Ahn (Ewha Woman's University, Seoul, Rep. of Korea)

(5) Prof. Paolo Furlan (Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste, Trieste, Italy)

(6) Prof. Joris van der Jeugt (Department of Applied Mathematics, Computer Science and Statistics, University of Ghent, Ghent, Belgium)

(7) Prof. Kostas Kokkotas (Theoretical Astrophysics, Department of Physics, University of Tuebingen, Germany)

(8) Prof. Jutta Kunz (Institut für Physik, Universität Oldenburg, Oldenburg, Germany)

(9) Dr. Shohreh Abdolrahimi (Theoretical Physics Institute, University of Alberta, Edmonton, Canada)

(10) Prof. Michel Dubois-Violette (Laboratoire de Physique Théorique, Orsay, France)

(11) Prof. Tekin Dereli (Koç University, Istanbul, Turkey)

- (12) Prof. P. Suranyi (University of Cincinnati, Ohio, USA)
- (13) Prof. L.C.R. Wijewardhana (University of Cincinnati, Ohio, USA)
- (14) Prof. Patrick Moylan, (Penn State University, USA)
- (15) Prof. Lorian Bonora (SISSA, Trieste, Italy)
- (16) Dr. Alessio Marrani (Padova University, Italy)
- (17) Prof. Naruhiko Aizawa (Osaka Prefecture University, Japan)
- (18) Dr. Igor Salom (Institute of Physics, Belgrade)
- (19) Prof. Konstantin Zarembo (NORDITA – Stockholm, Sweden).
- (20) Prof. Daniel Grumiller (ITP, Vienna University of Technology, Austria)
- (21) Prof. Anton Rebhan (ITP, Vienna University of Technology, Austria)
- (22) Prof. Piotr Crusciel (Institute for Gravitational Physics, Vienna University)

Е. Участие на млади учени в международни форуми:

д-р Цветан Вецов и докторант Стефан Младенов взеха участие в :

- (1) *Belgrade 2015 – Supergravity, CERN – SEENET-MTP PhD Training Program, June 21-28, 2015.*
- (2) *The 2015 European School of High-Energy Physics, Bansko, Bulgaria, 2 - 15 September 2015.*
- (3) *Humboldt Kolleg, Open Problems in Theoretical Physics: the Issue of Quantum Space-Time, Corfu, Greece, 18-22 September, 2015.*
- (4) *Workshop on Noncommutative Field Theory and Gravity, Corfu, Greece, 21 - 27 September, 2015.*

III. ЗНАЧИМОСТ НА ОСНОВНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

(i) Принос към по-дълбокото и по-точно изучаване на свойствата на еволюцията на Вселената, на разгадаване мистерията на "тъмната енергия" и "тъмната материя" - нейните два основни градивни елемента (95 % от пълния

състав); по-дълбоко разбиране на същността на стандартния модел на елементарните частици - основните причини за съществуването на неговата квинтесенция - спонтанното нарушение на калибровъчните симетрии.

(ii) Принос към по-детайлното разбиране на природата на пространствено-времевите вселенски "портали" (wormholes), чието експериментално откритие е една от главните парадигми в съвременната теория на гравитацията и астрофизиката.

(iii) Принос за разбиране на свойствата на черните дупки в квази-стационарни системи с външна материя. Взаимодействието с външната материя води до драстично изменение на някои свойства на черните дупки спрямо тези познати от изучаването им като изолирани обекти. Увеличаване на набора от точни решения описващи деформирани черни дупки. Изследванията са от съществено значение, тъй като биха могли да се приложат за описание на реално наблюдавани астрофизични кандидати за черни дупки.

(iv) Принос за по-дълбокото разбиране на физическата същност на знаменитата гравитационно-калибровъчна дуалност; крачка напред в рамките на усилията на голям брой елитни школи и учени по света в областта на съвременната теория на струните да се намери математически самосъгласуван и последователен извод, от най-основните принципи на теоретичната и математическа физика, на динамиката на гравитационно-калибровъчната дуалност. Окончателната формулировка на гравитационно-калибровъчната дуалност от "първи принципи" може да се окаже революция във физиката сравнима с революциите от откритието на теорията на относителността и квантовата механика.

(v) Съществен принос за разкриване на дълбоки връзки между базисни концепции и обекти в теорията на елементарните частици, от една страна, и съвременни активно развивани области на фундаменталната математика като теория на числата, от друга страна. Това води не само до взаимно обогатяване с нови идеи и концепции в двете науки, но е и важен тласък и мотивация за нови развития в самата фундаментална математика.

(vi) Принос към по-дълбокото и систематично изучаване на различни симетрични обекти (конформни алгебри и супералгебри на Ли, вкл. безкрайномерни), които намират нарастващи приложения в различни области на съвременната физика чрез различни модели на инвариантни диференциални уравнения, квантови осцилатори и др.

(vii) Потенциално приложение на квантово-груповите симетрии към теоретичните основи на квантовите компютри.

(viii) Принос към по-детайлното разбиране на компактните обекти в алтернативните теории на гравитация и възможните отклонения от общата теория на относителността, на техните астрофизични проявления и възможностите за налагане на наблюдателни ограничения върху режима на силни полета в гравитацията.

(ix) Доказани са първите теореми класифициращи пространствено временните многообразия на базата на фотонните сфери, които са реални астрономически наблюдаеми обекти.

(x) Принос за изучаване на свойствата на класове от решения на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация, получени чрез Калуца-Клайн трансформация върху вакуумно решение. Получаване на редица общи съотношения свързващи физическите характеристики на вакуумното и зареденото решение.

СПИСЪК НА ТРУДОВЕТЕ ЗА ПЪРВИЯ ЕТАП

[1] Changrim Ahn, **Plamen Bozhilov**, "A HHL 3-point correlation function in the η -deformed $AdS_5 \times S^5$ ", Phys.Lett. **B743** (2015) 121-126, ISSN: 0370-2693, **IF: 6.131**.

[2] P. Furlan and **V.B. Petkova**, "On some 3-point functions in the W_4 CFT and related braiding matrix", JHEP **12** (2015) 079, 23p. ; ISSN 1029-8479, **IF: 6.111**.

[3] S. Abdolrahimi, J. Kunz, **P. Nedkova**, C. Tzounis, "Properties of the distorted Kerr black hole", JCAP **12** (2015) 009, ISSN: 1475-7516, **IF: 5.81**.

[4] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, "Dark Energy and Dark Matter From Hidden Symmetry of Gravity Model with a Non-Riemannian Volume Form", European Physics Journal **C75** (2015) 472-479; ISSN: 1434-6052, **IF 5.084**.

- [5] Kalin V. Staykov, **Daniela D. Doneva**, **Stoytcho S. Yazadjiev**, “*Orbital and epicyclic frequencies around neutron and strange stars in R^2 gravity*”, The European Physical Journal **C75** (12) (2015), 1-7; ISSN: 1434-6052; **IF: 5.084**.
- [6] D. Arnaudov and **R.C. Rashkov**, “*Three-point correlation functions from pulsating strings in $AdS_5 \times S^5$* ”, Phys. Rev. **D92** (2015) 126001 (2015); ISSN 2470-0029; **IF: 4.643**.
- [7] **Daniela D. Doneva**, Kostas D. Kokkotas, “*Asteroseismology of rapidly rotating neutron stars - an alternative approach*”, Phys.Rev. **D92** (2015) 12, 124004; ISSN 2470-0029; **IF: 4.643**.
- [8] **Daniela D. Doneva**, **Stoytcho S. Yazadjiev**, Kostas D. Kokkotas, “*The I - Q relations for rapidly rotating neutron stars in $f(R)$ gravity*”, Phys.Rev. **D92** (2015) 6, 064015; ISSN 2470-0029; **IF: 4.643**.
- [9] Kalin V. Staykov, **Daniela D. Doneva**, **Stoytcho S. Yazadjiev**, Kostas D. Kokkotas, “*Gravitational wave asteroseismology of neutron and strange stars in R^2 gravity*”, Phys. Rev. **D92** (2015) 043009; ISSN 2470-0029; **IF: 4.643**.
- [10] **Stoytcho S. Yazadjiev**, **Daniela D. Doneva**, Kostas D. Kokkotas, “*Rapidly rotating neutron stars in R -squared gravity*”, Phys. Rev. **D91** (2015) 084018; ISSN 2470-0029; **IF: 4.643**.
- [11] **S. Yazadjiev**, „*Uniqueness of the static spacetimes with a photon sphere in Einstein-scalar field theory*“, Phys.Rev. **D91** (2015) 12, 123013; ISSN 2470-0029; **IF: 4.643**.
- [12] S. Abdolrahimi, J. Kunz, **P. Nedkova**, “*Myers-Perry black hole in an external gravitational field*”, Phys. Rev. **D91** (2015) 064068; ISSN: 2470-0029, **IF: 4.643**.
- [13] **L. Georgiev**, “*Thermoelectric properties of Coulomb-blockaded fractional quantum Hall islands*”, Nucl. Phys. **B894** (2015) 284–306; ISSN 0550-3213, **IF: 3.929**.
- [14] **L. Georgiev**, “*Thermopower and thermoelectric power factor of Z_k parafermion quantum dots*”, Nucl. Phys. **B899** (2015) 289–311; (ISSN 0550-3213, **IF: 3.929**).

- [15] **L. Anguelova**, P. Suranyi and L.C.R. Wijewardhana, *De Sitter Space in Gauge/Gravity Duality*, Nucl. Phys. **B899** (2015) 651-676; ISSN 0550-3213, **IF: 3.929**.
- [16] **S. Yazadjiev** and B. Lazov, “*Uniqueness of the static Einstein-Maxwell spacetimes with a photon sphere*“, Class.Quant.Grav. **32** (2015) 165021; ISSN: 1361-6382; **IF: 3.168**.
- [17] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, "Vacuum Structure and Gravitational Bags Produced by Metric-Independent Spacetime Volume-Form Dynamics", International Journal of Modern Physics **A30** (2015) 1550133, 31 p.; ISSN: 0217-751X, **IF: 1.699**.
- [18] **Plamen Bozhilov**, "Some three-point correlation functions in the eta-deformed $AdS_5 \times S^5$ ", arXiv: 1502.00610 [hep-th], to appear in International Journal of Modern Physics **A30** (2016) 1550224; ISSN: 0217-751X, **IF: 1.699**.
- [19] **N.I. Stoilova** and J. Van der Jeugt, "A class of infinite-dimensional representations of the Lie superalgebra $osp(2m + 1|2n)$ and the parastatistics Fock space", J. Phys. A: Math. Theor. **48** (2015) 155202, 16 p.; ISSN: 1751-8113, **IF: 1.583**.
- [20] E.I. Guendelman, R. Herrera, P. Labrana, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, "Stable Emergent Universe - A Creation without Big-Bang", Astronomische Nachrichten **336** (2015) 810-814; ISSN: 1521-3994, **IF: 0.922**.
- [21] **L. Hadjiivanov**, **I. Todorov**, "Quantum entanglement", Bulg. J. Phys. **42** (2015) 128-142; ISSN 1310-0157.
- [22] **V.K. Dobrev**, *Invariant Differential Operators for Non-Compact Lie Groups: an Introduction*, Bulg. J. Phys. **42** no.3 (2015) 236-248; ISSN: 1310-0157.
- [23] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, "Metric-Independent Volume-Forms in Gravity and Cosmology", Bulg. J. of Phys. **42** (2015) 249-262, 14 p.; ISSN: 1310-0157.
- [24]. **H. Dimov**, **R.C. Rashkov**, “Notes on Vortices and String/Gauge Theory Correspondence”, Bulg. J. Phys. **42** (2015) 263–276; ISSN 1310-0157.

[25] **L. Anguelova**, P. Suranyi and L.C.R. Wijewardhana, *Toward a Gravity Dual of Glueball Inflation*, Bulg. J. Phys. **42** no.3 (2015) 277-287; ISSN 1310-0157.

[26] **R. Rashkov**, **T. Vetsov** - "Scalar D-brane Fluctuations and Holographic Mesons in Pilch-Warner Background", Bulg. J. Phys. **42** (2015) 288–295; ISSN 1310-0157.

[27] **R. Rashkov**, **T. Vetsov** - "Holographic mesons in global Pilch-Warner Geometry", Plovdiv University „Paisii Hilendarski” - Bulgaria Scientific papers, vol. **39**, book 4 (2015) Physics, p. 202; ISSN 0861-0029.

Публикации в трудове на конференции:

[28] **V.K. Dobrev** and I. Salom, *Positive Energy Unitary Irreducible Representations of the Superalgebras $osp(1/2n, R)$ and Character Formulae*, arXiv:1506.02272, Proceedings of the VIII Mathematical Physics Meeting SFIN XXVIII (A1), eds. B. Dragovich et al, (Belgrade Inst. Phys. 2015) [ISBN 978-86-82441-43-4], pp. 59-81.

[29] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, "*Unification of Inflation and Dark Energy from Spontaneous Breaking of Scale Invariance*", in "Eight Mathematical Physics Meeting", pp. 93-103, B. Dragovic and I. Salom (eds.), Belgrade Inst. Phys. Press (2015), 11 p., ISBN: 978-86-82441-43-4.

[30] E.I. Guendelman, **E. Nissimov**, **S. Pacheva** and M. Vasilhoun, "*A New Venue of Spontaneous Supersymmetry Breaking in Supergravity*", in "Eight Mathematical Physics Meeting", pp. 105-115, B. Dragovic and I. Salom (eds.), Belgrade Inst. Phys. Press (2015), 11 p., ISBN: 978-86-82441-43-4.

Препринти приети за печат в Трудове на конференции:

[31] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, "*Metric-Independent Spacetime Volume-Forms and Dark Energy/Dark Matter Unification*", arXiv:1512.01395 [gr-qc], 12 p., to be published in the Proceedings of "XI International Workshop on Lie Theory and Its Applications in Physics", Springer

Proceedings in Mathematics and Statistics, ed. V. Dobrev, Springer (2016), ISSN: 2194-1009.

[32] E.I. Guendelman, **E. Nissimov**, **S. Pacheva** and **M. Stoilov**, "*Kruskal-Penrose Formalism for Lightlike Thin-Shell Wormholes*", arXiv:1512.08029 [gr-qc], 14 p., to be published in the Proceedings of "XI International Workshop on Lie Theory and Its Applications in Physics", Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, ed. V. Dobrev, Springer (2016), ISSN: 2194-1009.

[33] **L. Hadjiivanov**, P. Furlan, "*Spread*" restricted Young diagrams from a 2D WZNW dynamical quantum group, arXiv:1512.09031 [math-ph], to be published in the Proceedings of "XI International Workshop on Lie Theory and Its Applications in Physics", Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, ed. V. Dobrev, Springer (2016), ISSN: 2194-1009.

[34] **I. Todorov**, *Renormalization of position space amplitudes in a massless QFT*, e-print CERN-PH-TH-2015-016 (<https://cds.cern.ch/record/1984462/files/CERN-PH-TH-2015-016.pdf>), to appear in "Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei", Special Issue, ISSN 0367-2026.

[35] **I. Todorov**, "*Relativistic causality and position space renormalization*", to appear in Proc. "Raymond Stora Memorial meeting", CERN, December 4, 2015.

[36] **N.I. Stoilova**, "*Generalized Quantum Statistics and Lie (Super)Algebras*", arXiv:1512.05076, to appear in Proc. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union (Istanbul, 2015).

Пълен текст на защитена дисертация за ДН

[37] **Plamen Bozhilov**, "*P-Branes Dynamics, AdS/CFT and Correlation Functions*", arXiv: 1507.06762 [hep-th];

Препринти в електронни архиви:

[38] **R. C. Rashkov** and **T. Vetsov** - "Holographic mesons in global Pilch-Warner background geometry", arXiv:1502.04493v1 [hep-th].

- [39] Kalin Staykov, K. Yavuz Ekşi, **Stoytcho S. Yazadjiev**, M. Metehan Türkoğlu, A. Savaş Arapoğlu, “*Moment of inertia of neutron star crust in alternative and modified theories of gravity*”, arXiv:1507.05878 [gr-qc], Submitted to a journal.
- [40] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, “*Cosmology via Metric-Independent Volume-Form Dynamics*”, arXiv:1509.01512 [gr-qc], Karl Schwarzschild Meeting 2015, 6 p.
- [41] **S. Yazadjiev** and B. Lazov, „*Classification of the static and asymptotically flat Einstein-Maxwell-dilaton spacetimes with a photon sphere*“, arXiv:1510.04022 [gr-qc], Submitted to a journal.
- [42] **D. Nedanovski**, *Compact Picture in Extended Superconformal Field Theories*, arXiv:1510.06063 [hep-th].
- [43]. **H. Dimov**, **S. Mladenov**, **R. C. Rashkov**, and **T. Vetsov** - “Non-abelian T-duality of Pilch-Warner background”, arXiv:1511.00269 [hep-th].
- [44] **V.K. Dobrev**, *Classification of Conformal Representations Induced from the Maximal Cuspidal Parabolic*, preprint SISSA 52/2015/FISI (October 2015), arXiv:1511.04977. (докладвана на семинар в SISSA, Trieste).
- [45] E.I. Guendelman, **E. Nissimov** and **S. Pacheva**, “*Unified Dark Energy and Dust Dark Matter Dual to Quadratic Purely Kinetic K-Essence*”, arXiv:1511.07071 [gr-qc], 11 p. (submitted to European Physics Journal C).
- [46] C. Knoll, **P. Nedkova**, “*Charged rotating dilaton black holes with Kaluza-Klein asymptotics*”, arXiv:1512.01494[gr-qc], submitted to Phys. Rev. D.
- [47] **Stoytcho S. Yazadjiev**, **Daniela D. Doneva**, “*Comment on “The Mass-Radius relation for Neutron Stars in $f(R)$ gravity” by S. Capozziello, M. De Laurentis, R. Farinelli and S. Odintsov*”, arXiv:1512.05711 [gr-qc].
- [48] **L. Anguelova**, *A Gravity Dual of Ultra-slow Roll Inflation*, arXiv:1512.08556 [hep-th].

ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНО-ПОПУЛЯРНИ ИЗДАНИЯ

[P1] **И. Тодоров**, Квантово преплитане, *Granta България* 5, Изд. Жанет, Пловдив, 2015, с. 129-142.

[P2] **И. Тодоров**, Реймон Стора (Raymond Stora, 1930-2015), *Трибуна УФН* No 127, публикувано online 26 август 2015; *Светът на физиката* **38:2** (2015) 203-205.

[P3] **И. Тодоров**, Професор Христо Христов (1915-2015) *Светът на физиката* **38:2** (2015) 199-200.