

## АНОТАЦИЯ

на цикъл от избрани научни трудове  
на проф. д-р Емил Рафаелов Нисимов от ИЯИЯЕ при БАН,  
представени на конкурса за член-кореспонденти на БАН, 2014 год.

Представеният на конкурса цикъл от научни трудове се състои от 73 избрани работи от общо 125 труда на кандидата досега (вж. приложените списъци). До момента са забелязани 1159 цитирания на конкурсните трудове от независими (чуждестранни) автори от общо 1200 независими цитирания на всички трудове на кандидата с h-фактор (Хирш-индекс) 20. Сред тези цитирания особено се открояват цитиранията от такива водещи световни авторитети на съвременната теоретична физика като Д. Волков, А. Замолодчиков, Л. Фаддеев, Е. Brezin, Т. Damour, J. Ellis, J. Froehlich, M. Green, W. Israel, W. Siegel, K. Symanzik, C. Teitelboim-Bunster, P. Townsend, P. van Nieuwenhuizen, E. Witten, J. Zinn-Justin, B. Zumino, и други.

В по-нататъшното изложение е приета следната схема. Първо се дава съвсем сбита характеристика на въпросните направления от теорията на елементарните частици, математическата физика, гравитацията и космологията, като се посочва мястото в тях на изследванията в представените конкурсни трудове. След това кратко се описва същността и значимостта на получените научни резултати за развитието на съответните направления. Използваната тук номерация на трудовете следва номерацията в приложения пълен списък на всички трудове на кандидата.

Преди да пристъпим към същинското изложение, нека добавим още едно уточнение. Във всички представени на конкурса трудове, които са в съавторство с други учени, кандидатът има главен принос (в смисъл на обем на извършената работа, както е например в трудове [2,3,6,15] от времето на неговата докторантура) или има водещ принос. Така например двама от по-известните съавтори на кандидата - проф. С. Соломон и проф. Х. Аратин (понастоящем достатъчно солидни и уважавани учени от Hebrew University, Jerusalem (Israel) и съответно от University of Illinois at Chicago, Chicago (USA)), по време на по-голямата част от периода на сътрудничество с кандидата бяха млади учени от ранга на *postdoc*, докато кандидатът беше вече с ранг на *visiting professor* в редица авторитетни задгранични академични институции (вж. приложената професионална автобиография). Именно съвместните им трудове с кандидата се оказаха една от главните причини, поради която споменатите колеги бяха впоследствие удостоени с постоянни професорски позиции в едни от най-реномираните университети в Израел и, съответно, САЩ.

И така, основните и най-признати оригинални приноси в представените трудове се отнасят до три актуални и днес направления в теорията на елементарните частици, математическата физика, гравитацията и космологията (номерацията на трудовете е според приложения пълен списък):

### I. Теория на интегрируемите системи

Към тази тематика се отнасят 28 труда [2,3,5,6,14,51,52,53,54,55,57,60,61,62,64,65,66,67,68,72,73,74,75,76,77,82,83,84] с общ брой забелязани независими цитирания - **439**. Сред тях работа [3] има 47 цитирания, работа [73] - 43 цитирания.

Теорията на интегрируемите динамични системи, и преди всичко - на безкрайно-мерните теоретико-полеви интегрируеми модели, заема централно място в съвременната теоретична физика. Възникнала първоначално като теория на нелинейни еволюционни уравнения описващи солитонни вълнови процеси и точно решаемы по класическия метод на обратната задача за разсейване, интегрируемите системи днес буквално пронизват почти всички основни дялове на теоретичната физика — от теорията на кондензираните среди до теорията на суперструните като всеобхватна единна теория на всички фундаментални взаимодействия на елементарните

**ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА**

частици, включително и гравитацията, при свръхвисоки енергии. Съгласно една от основните съвременни концепции в теорията на елементарните частици, съществените свойства на динамиката на взаимодействията може да се опише адекватно с помощта на теоретико-полеви модели в по-ниска от реалната размерност на пространство-времето. Тези ниско-размерни теоретико-полеви модели същевременно притежават безкрайно-мерни симетрии и, съответно, в много случаи се явяват интегрируеми (точно решаеми).

Едно от централните свойства характеризиращи класическите (неквантувани) теоретико-полеви интегрируеми системи е наличието в тях на безкрайни системи от независими интегрални на движение в инволюция (законали за запазване). При първоначалното (наивно) прилагане от други автори на стандартната процедура за квантуване обаче бе забелязана появата на квантови аномалии (в резултат на регуляризацията и пренормировката на присъщите за всяка квантово-полева теория ултравиолетови разходимости), които нарушават свойството за запазване на съответните квантувани интегрални за движение, и което от своя страна доведе тези автори до (невярното) твърдение за нарушаване на свойството за интегрируемост при квантуването на интегрируемите системи внесло известен смут в тогавашната теоретико-физична общност. Решение на този изключително важен въпрос бе намерено за пръв път в литературата в серията трудове [2,3,5,6, 14]. Там е предложена обща схема за систематична пренормировка на квантуваните интегрални на движение, при което те продължават да бъдат закони за запазване в инволюция и на квантово ниво. Новият подход в [2,3,5,6,14] е основан на правилно обобщение и прилагане на процедурата за пренормиране на произведения от квантови полета (пренормировката на произведение от квантови полета *не е* равна на произведението от отделните пренормирани квантови полета!). Така явно построените в работи [2,3,5,6,14] висши квантови закони за запазване в 2-мерните квантувани интегрируеми полеви модели се превърна в основата за тяхното последвало точно решение.

Един важен клас интегрируеми системи, интересен както от физическа така и от математическа гледна точка, е класът на геометричните динамични системи с фазови пространства върху коприсъединени орбити на безкрайно-мерни групи на Ли с централни разширения. В този смисъл нека напомним, че тук влизат известните конформни модели на Вес-Зумино-Новиков-Уитен, които описват различни непертурбативни основни състояния в теорията на (супер)струните. В серията работи [51,52,53,54,55,57,60,61,82] е предложена за пръв път в литературата обща схема за явно построяване на геометрични динамични системи върху коприсъединени орбити на произволни безкрайно-мерни групи в термини само на два фундаментални геометрични обекта (едно-форма на Морер-Картан и групово-значен едно-коцикъл). Тази обща схема е детайлно разработена в контекста на редица конкретни физически интересни модели, също така предложени тук за пръв път в литературата, които описват индуцирана 2-мерна (супер)гравитация, аномални квантови ефекти в теория на мембраните, и други.

В цикъла от трудове [62,64,65,66,67,68,72,73,74,75,76,77,82,83,84] са изследвани редица важни аспекти на класическите (неквантувани) интегрируеми системи. Тук за пръв път в литературата е дадено пълно систематично описание на всички допълнителни нехамилтонови (неизоспектрални) симетрии в интегрируемите системи от типа на Кадомцев-Петвиашвили, вкл. тяхното суперсиметрично обобщение. Открито е наличието на нов вид допълнителни симетрии образувачи нетривиална безкрайномерна алгебра от типа на Кац-Муди. Показано е, че гореспоменатите важни за суперструнната теория конформни модели на Вес-Зумино-Новиков-Уитен, а също така и редица други нелинейни системи уравнения с приложения в нелинейната хидродинамика, нелинейната оптика и физиката на плазмата, се съдържат като частни случаи в интегрируемите системи от типа на Кадомцев-Петвиашвили, по-точно като уравнения породени от еволюционните потоци на подсъвокупност на съответните допълнителните симетрии. Друг физически релевантен резултат е намерената интересна физическа интерпретация на един нов клас солитонopodobни решения (по-точно тау-функции) на интегрируемите системи от типа на Кадомцев-Петвиашвили на езика на теорията на кондензираната материя като функции на съвместно разпределение от нов тип модели със случайни матрици, при които възниква двучастичен потенциал на привличане между съответните квазичастици.

## II. Непертурбативни аспекти на квантовите калибровъчни теории

Към тази тематика се отнасят 17 труда [7,10,12,13,15,17,18,26,28,29,30,31,32,33, 34,35,36] с общ брой забелязани независими цитирания - **209**.

Стандартната теория на пертурбациите в квантовата теория на полето, и особено в контекста на калибровъчните теории, не е в състояние да описва повечето фундаментални квантови свойства и явления, такива като: зависимостта на структурата (в частност, симетрията) и силата на взаимодействията от мащабите на енергията (или разстоянията); произтичащата от тук нетривиална и изменяща се структура на физическия вакуум (състоянието с най-ниска енергия) и фазовите преходи между различните вакууми; механизмите за формиране на пълния спектър на частиците, в частност "удържането" на кварките. Следователно, успешното прилагане на квантовите калибровъчни теории за адекватно описание на физиката на силните и електрослабите взаимодействия съществено зависи от разработването на подходящи непертурбативни подходи, точно на подходи основани на систематични последователни приближения отлични от наивната теория на пертурбациите по константите на връзка.

Важен принос към споменатия по-горе проблем за непертурбативните подходи се съдържа в трудовете [7,10,12,13,15,17,18,26] (за първите 5 работи авторът е удостоен през 1984 год. с националната премия за млади учени (премията на ДКМС)). Тук в контекста на калибровъчните теории в 3-мерно пространство-време на базата на непертурбативното  $1/N$ -разлагане са намерени за пръв път в литературата явни реализации на непертурбативните механизми моделиращи най-съществените физически свойства на реалистичните 4-мерни калибровъчни теории: динамично пораждаване на маси, вкл. калибровъчно инвариантни маси за глюони - това е принципно нов механизъм отличен от стандартния механизъм на Хигс; наличие на няколко фази, определени от *повече от един* параметри на порядъка и свързани със спонтанно нарушение (и възстановяване) не само на непрекъснатите вътрешни, но и на дискретните пространствено-времеви симетрии; удържане (*confinement*) на частици в някои от фазите и тяхното освобождаване (*deconfinement*) в други фази; систематична теоретико-полева теория на съответните фазови преходи от втори род и критичното поведение на квантово-полевите системи около тези преходи в рамките на непертурбативното  $1/N$ -разлагане; пренормируемост на непренормируеми (по наивната теория на пертурбациите) модели, вкл. такива съдържащи 4-фермионни взаимодействия.

В работи [29,30,31] са намерени и подробно изследвани явните механизми за динамично *аномално* (не спонтанно) нарушение на дискретни симетрии в 3-мерни калибровъчни теории, което дава съществен принос към по-дълбокото разбиране на динамичното аномално нарушение на киралната симетрия в реалната 4-мерна квантова хромодинамика. Тук за пръв път в литературата е предложен адекватен систематичен подход за описание на аномалното нарушение на дискретните  $P$  и  $T$  четности използвайки т.н. топологичен инвариант на Атия-Патоуди-Зингер.

В работи [28,32,33,34,35,36] за пръв път в литературата са намерени и подробно изследвани явните механизми за възникване на динамично спонтанно и динамично аномално нарушение на симетриите, а също така на топологичното квантуване на физическите параметри и пораждането на т.н. глобални аномалии, в рамките на стохастичния непертурбативен подход към квантовите калибровъчни теории на полето, което е от първостепенно значение за неговата самосъгласуваност.

## III. Теория на струни и $p$ -мерни мембрани, обобщени гравитационни теории с приложения във физиката на елементарните частици и космологията

Към тази тематика се отнасят 28 труда [37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,69,87,89,91,92,93, 94,95,104,105,106,107,110,112,116] с общ брой забелязани независими цитирания - **511**. Сред тях работа [40] има 116 цитирания, работа [39] - 97 цитирания, работа [41] - 54 цитирания, работа [46] - 45 цитирания, работа [37] - 44 цитирания.

## ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА

**(а) Ковариантно квантуване на суперсиметрични струнни теории**

Съвременната (супер)струнна теория е обединителна теория на всички фундаментални сили в Природата при свръхвисоки енергии с мащаб от порядъка на Планковата маса. Тя за пръв път в историята на физиката предлага адекватно самосъгласувано квантуване на гравитацията, в частност, разбирането на природата на такива космологични обекти като квантови "черни дупки" и пространствено-времеви "портали"/"тунели" (*wormholes*) във Вселената (и даже възможността нашата собствена Вселена да е само един "екземпляр" от много паралелни вселени потопени в пространство-време с по-висока размерност).

Една от главните отличителни черти на суперструните от гледна точка на тяхното лагранжево-хамилтоново описание е, че те представляват безкрайномерни динамични системи с връзки както от първи така и от втори род според класификацията на Дирак, които са смесени по релативистично нековариантен начин. Нека напомним, че при квантуване връзките от първи род (отговарящи на калибровъчни симетрии) и връзките от втори род (отговарящи на редуция на физическите степени на свобода) се третираат по съществено различен начин. В резултат на последното обстоятелство наивното разделяне на връзките при суперструните според класа им води до загуба на явната релативистична инвариантност на теорията и, следователно, изисква качествено нов подход към проблема за тяхното ковариантно квантуване.

В серията работи [37-49] е дадено систематично решение на проблема за явно ковариантното квантуване на суперсиметричните струнни теории. Това е постигнато с помощта на въведените за пръв път в литературата спинорни спомагателни степени на свобода, които от една страна способстват за явното релативистично-ковариантно разделяне на връзките от първи и втори клас, и от друга страна не променят динамиката на системата, тъй като са "чисти калибровки" (нефизически степени на свобода). Този подход (формализъм на спинорно-хармонично суперпространство) по-нататък е използван, доразвиван и прилаган от многобройни други автори, по-специално, за явно релативистично-ковариантното третиране на  $p$ -мерните супер-мембрани - също така важни протяжни обекти възникващи в контекста на непертурбативната квантова теория на супериметричните струни.

**(б) Нови  $p$ -мерни мембранни модели и физика на черни дупки и пространствено-времеви "портали" ("wormholes")**

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 трудове [91-95,104-107] бе предложен и детайлно изследван 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*.

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 астрофизически явления, в това число – в „мембранната парадигма” във физиката на черните дупки и в мембрания подход към проблема с гравитационните доменни стени. Неотдавна светоподобните мембрани започнаха да играят важна роля и в контекста на съвременната струнна теория на фундаменталните сили в природата.

За пръв път в литературата в [91-95,104-107] е въведен нов тип явно репараметризационно-инвариантен лагранжев формализъм върху мембранни мирови обеми (в частност – струнни мирови повърхности), с помощта на който от първи принципи се извежда динамиката на светоподобните мембрани. Едно от първите и най-забележителни приложения на тази нова конструкция в работи [106,105] бе откриването и поправянето (след повече от 70 години!) на **пропуск в знаменитата класическа статия на Айнщайн-Розен от 1935 г.** за прочутия вселенски „мост на Айнщайн и Розен” (*Einstein-Rosen bridge* - исторически, първият пример за "wormhole" - вселенска „червейна дупка” или по-точно *пространствено-времеви "портал"*).

**ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА**

Именно, показахме, че оригиналното решение на Айнщайн и Розен е математически и физически самосъгласувано тогава и само тогава, когато на „гърлото“ – преход между двете вселени е разположена "екзотична" материя, представляваща тъкмо светоподобна мембрана (факт останал незабелязан в оригиналната класическа работа от 1935 г.).

Други физически интересни ефекти и приложения на светоподобните мембрани, намерени и подробно изследвани в този цикъл работи, включват: черни дупки без гравитационни сингулярности [107]; нов тип светоподобни „мембранни вселени“ – алтернативи на знаменитите „мембранни вселени“ от тип *Randall-Sundrum*; нов механизъм за спонтанна компактификация и декомпактификация на напречните измерения на пространство-времето [110]; скриване и/или удържане на електрически товари (*charge hiding/confinement*) с помощта на гравитационни "wormholes"[116].

**(в) Обобщени гравитационни теории с приложения във физиката на елементарните частици и космологията**

В работи [112,116] е предложен принципно нов клас гравитационни теории, в частност - обобщаващи т.н. *f(R)*-гравитация, в които гравитацията взаимодейства с нестандартно нелинейно калибровъчно поле (нестандартна нелинейна електродинамика), в чийто лагранжиан присъства квадратен корен от стандартния Максвелов лагранжиан. В границата на плоско пространство-време тази нестандартна нелинейна калибровъчна теория описва "удържане" (*confinement*) на електронатоварени частици чрез механизъм напълно аналогичен на "удържането" на кварките в квантовата хромодинамика - едно от най-фундаменталните явления в Природата отговорно за самото съществуване на нашия наблюдаван свят. Включване на взаимодействие с гравитацията води до появата на редица особено интересни от физическа гледна точка нови ефекти като: динамично генерирани ефективни константи на връзка и фазов преход между фази с "удържане" (*confinement*) и фази с "освобождане" (*deconfinement*) на товари; нов механизъм за динамично генериране на ефективна космологична константа; нов тип нестандартни черни дупки носещи константно вакуумно радиално електрично поле (такива електрични полета не съществуват в стандартната Максвелова електродинамика); пораждање на нови типове "тръбовидни" вселени с компактифицирани напречни измерения; нов клас електровакуумни гравитационни ударни вълни улавящи натоварени частици.