

Лаборатория „Теория на елементарните частици” 1972 – 2012

А. Мястото на Лаборатория „ТЕЧ” на международния научен ландшафт

Лаборатория „Теория на елементарните частици” (за краткост - Лаборатория „ТЕЧ”; в миналото „Проблемна група по теория на елементарните частици”) е основана в началото на 70-те години от акад. Иван Тодоров като съставна единица на тогавашния „Сектор по теория на ядрото и елементарните частици” основан и ръководен от директор-основателя на ИЯИЯЕ акад. Христо Христов. В продължение на много години зам.-ръководител на проблемната група е член-кор. Димитър Стоянов. Други дългогодишни старши членове на групата са акад. Чавдар Палев и член-кор. Валентина Петкова.

От самото начало на своето създаване колективът на Лаборатория „ТЕЧ” развива изключително активна научно-изследователска дейност в практически всички “най-горещи” области на теорията и феноменологията на фундаменталните взаимодействия на елементарните частици при високи и свръхвисоки енергии и на математическата физика, а също така провежда теоретични изследвания на предния фронт в гравитацията и космологията.

Повечето от тези научно-изследователски области са актуални и бурно развиващи се и в днешно време. По-главните от тях са:

аксиоматичен, групово-теоретичен и алгебричен подход в квантовата теория на полето; квантови модели с обобщена статистика; конформни теории на полето с приложения в теория на струните; суперсиметрия и супергравитация; непертурбативни явления и методи в квантовите калибровъчни полеви теории; теория и приложения на интегрируемите динамични системи (теория на солитоните); Хамилтонова динамика на релативистични системи с връзки с приложения в теорията на струни и мембрани; калибровъчни теории върху дискретни решетки и статистическа механика на случайни повърнини; теория и феноменология на електрослабите и силните взаимодействия; физика на масивните неутрина и неутринните осцилации; релативистка гравитация и астрофизика – точни решения на уравненията на общата теория на относителността.

В последните години към изследователския арсенал на Лаборатория „ТЕЧ” се включиха нови модерни области сред които:

квантови групи и обобщени симетрии; дуалност между гравитация и калибровъчни теории, и интегрируемост в струнната теория на елементарните частици; мембрани във физиката на черните дупки, космологията и физиката на елементарните частици; приложения на конформната квантова теория на полето в теорията на квантовите компютри.

Научната дейност на Лаборатория „ТЕЧ” през изминалия период се провежда в тясно сътрудничество с редица водещи световни научни центрове като:

(а) Международни центрове - **ОИЯИ** (Дубна, Русия); **ЦЕРН** (Женева, Швейцария); Международния център по теоретична физика и Международната

школа за съвременни научни изследвания (Триест, Италия); Институт „Ервин Шрьодингер“ (Виена, Австрия);

(б) Национални центрове – **Армения** (Физически институт на Армeнската АН, Ереван); **Австрия** (Институт по физика на високите енергии на Виенския университет); **Белгия** (Университета в гр. Гент); **Бразилия** (Институт по теоретична физика (Сао Пауло), Университет на щата Виктория); **Великобритания** (Imperial College (Лондон), Kings College (Лондон), University of York, University of Northumbria at Newcastle); **Германия** (DESY Hamburg, Institut für Theoretische Physik der Universität Göttingen, Technische Universität Clausthal, Max-Planck Institut für Mathematik (Leipzig), Institut für Theoretische Physik der Justus-Liebig-Universität (Giessen), Institut für Theoretische Physik der Universität Hamburg, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg); **Гърция** (Университет на гр. Патрас); **Израел** (Weizmann Institute of Science (Реховот); Hebrew University (Йерусалим); Университет "Бен-Гурион" (Беер-Шева)); **Ирландия** (Dublin Institute of Technology); **Италия** (Университет на гр. Триест, Римски университет "Тор Вергата", INFN); **Корея** (Ewha University (Seoul)); **Русия** (Математически институт на Руската АН (Петербург и Москва), Физически институт на Руската АН (Москва), Институт по теоретична физика (Черноголовка)); **САЩ** (Institute of Advanced Studies (Princeton, NJ), MIT (Cambridge, MA), Университет на щата Илинойс (Чикаго), Virginia Polytechnic Institute and State University (Blacksburg, Virginia), Pennsylvania State University (Abington), CLASS12 Collaboration at Jefferson Laboratory (Newport News, VA), University of Massachusetts (Amherst), University of Delaware (Newark); Michigan University (Ann Arbor), North Carolina State University (Raleigh)); **Украйна** (Национален политехнически университет (Одеса), Национален антарктически център (Киев)); **Унгария** (K.F.K.I. (Budapest)); **Франция** (С.Е.А. Saclay (Gif-sur-Yvette), Institut des Hautes Etudes Scientifiques (Bur-sur-Yvette); Université de Paris-Sud (Orsay), Ecole Polytechnique (Palaiseau), L.A.P.P. (Annecy); Université Paul Sabatier (Toulouse); Université Henri Poincaré (Nancy); Institut de Recherche Mathématique Avancée CNRS et Université de Strasbourg; Centre de Physique Théorique (Marseille)); **Швейцария** (Университет на гр. Женева); **Япония** (Osaka Prefecture University).

Също така трябва да се отбележи, че редица световно-известни чуждестранни учени са били научни ръководители на дисертации на (настоящи и бивши) сътрудници от Лаборатория „ТЕЧ“, сред които – акад. Людвиг Фаддеев, акад. Бруно Понтекорво, проф. Александър Мигдал, проф. Виктор Огиевецкий, проф. Самойл Биленкий.

Огромното мнозинство от публикациите на сътрудниците от Лаборатория „ТЕЧ“ са във водещите международни физически списания такива като “*Physical Review D*”, “*Nuclear Physics B*”, “*Journal of High Energy Physics*”, “*Physics Letters B*”, “*Communications in Mathematical Physics*”, “*Classical and Quantum Gravity*”, “*General Relativity and Gravitation*”, “*Journal of Mathematical Physics*”, “*International Journal of Modern Physics A*”, “*Modern Physics Letters*”, “*Letters in Mathematical Physics*”, “*Journal of Physics A*”, “*Rivista del Nuovo Cimento*”, “*Теоретическая и математическая физика*”, “*Письма в ЖЭТФ*”, “*ЭЧАЯ*” и други.

Особено представителни за международното реноме на Лаборатория „ТЕЧ“ са издадените от елитни чуждестранни научни издателства общо **12 монографии [1-12]** (вж. по-долу).

Работите на сътрудниците на Лаборатория "ТЕЧ" са получили широко признание и отзвук в световната научна литература по теоретична и математическа физика, което се потвърждава от значителния брой независими цитирания на публикации на членовете на Лабораторията в трудове на чуждестранни учени - общо над 18000 (осемнадесет хиляди) забелязани цитирания досега.

Няколко (вече бивши) членове на Лаборатория “ТЕЧ” – Стилиян Калицин, Иван Костов, Михаил Минчев, Сергей Петков, Емери Сокачев, Гален Сотков и Ясен Станев, междувременно бяха удостоени с постоянни професорски места съответно в такива елитни международни научни центрове като: Университетски медицински център, Университет на гр. Утрехт (Холандия), Центъра за ядрени изследвания (СЕН, Saclay) в Жиф-сюр-Ивет (Франция), Скуола Нормале в гр. Пиза (Италия), Международната школа за съвременни научни изследвания (SISSA) в гр. Триест (Италия), университета на гр. Лион (Франция), Института по теоретична физика в гр. Сао Пауло и Университета на щата Виктория (Бразилия), Римския университет „Тор Вергата” (Рим, Италия) .

В изминалия период, освен високите международни и национални награди и отличия получени от акад. И. Тодоров (вж. по-долу), редица по-млади членове на Лаборатория “ТЕЧ” (В. Добрев, В. Петкова, М. Минчев, Е. Нисимов, С. Пачева, Е. Сокачев) бяха удостоени с престижната национална премия на ДКМС за млади учени.

Б. Академик Иван Тодоров и българската школа по теоретична и математическа физика

Академик Иван Тодоров е *учен с изключителни постижения и със световно признание* в областта на съвременната теоретична физика – теория на елементарните частици, физиката на високите енергии, математическите основи на физиката. Той е най-известният на международно равнище български физик на нашето съвремие.

Общият брой научни трудове на акад. Иван Тодоров надхвърля 250, сред тях **11 монографии [1-11]**, повечето от които са издадени от най-престижните чуждестранни научни издателства (сред които *Pergamon Press, Addison-Wesley, Kluwer, Springer*). Две от тези монографии [1,2] са в съавторство със световноизвестния акад. Н. Н. Боголюбов и други водещи руски учени (и в двете монографии акад. И. Тодоров има водещ принос), а други 8 са в съавторство с по-млади членове на лабораторията. Повечето от тях и до днес са настолни книги за всеки студент и докторант в областта на теоретичната и математическа физика по света. Цитиранията на научните публикации на акад. Иван Тодоров са повече от 3000.

Акад. И. Тодоров по право се счита основател на съвременната българска школа по теоретична и математическа физика завоювала международно признание. Повече от 30 негови ученици работят успешно у нас, в ИЯИЯЕ-БАН и във

Физическия Факултет на СУ «Климент Охридски», а някои отдавна са получили признание и престижни професорски позиции в световноизвестни научни центрове и университети извън България (вж. по-горе).

В продължение на много години акад. Иван Тодоров изнася лекции за студенти и докторанти в Софийския университет по различни теми в областта на теоретичната и математическа физика и със своя вдъхновяващ пример подтиква много млади хора да намерят своето призвание на попрището на науката.

Иван Тодоров е избран за действителен член на БАН през 1974 г., на 40 г. възраст – и става най-младият академик в България.

Академик Иван Тодоров е бил Председател на ВАК в периода 1990-1991. Той е един от инициаторите на движение SOS за българската наука (1990-1992).

За високия международен авторитет на акад. Иван Тодоров особено красноречиво говори фактът, че той тясно е сътрудничил и има съвместни публикации с редица най-видни математици и физици на нашето време, в това число - Н.Н. Боголюбов, В. Баргман, В. Кац, Г. Мак, К. Ициксон.

Достиженията на акад. Иван Тодоров получават международно признание и чрез избирането му като член на редакциите на няколко най-реномирани световни списания по теоретична физика като *Europhysics Letters*, *Letters in Mathematical Physics*, *Reviews in Mathematical Physics*, *Reports in Mathematical Physics*, *Fortschritte der Physik*.

Той е и един от авторитетните международни експерти, канени да консултират Нобеловия комитет при номиниране на лауреати за Нобелова награда.

Акад. И. Тодоров е работил, изнасял е лекции, или е посещавал по специални покани 27 най-елитни световни научни центрове. Като поканен лектор е изнасял доклади на много десетки престижни международни конференции.

Акад. И. Тодоров е носител на многобройни международни и национални награди и отличия, най-престижните сред които са:

- (1) Национална („Димитровска“) награда – 1971;
- (2) Орден НРБ втора степен – 1983;
- (3) *Medaille "Francois 1er" du College de France (Paris 1986)*;
- (4) Орден „Марин Дринов“ – 2003;
- (5) Хумболдтова изследователска премия (Humboldt Research Award) – 2003;
- (6) Орден «Св. св. Кирил и Методий» първа степен – 2005
(брой 45 на ДВ, от 31.05.2005 г.).

В. Най-значителни научни постижения на Лаборатория „ГЕЧ“

Всички изброени по-горе фактори съществено допринасят за бързото утвърждаване на международния научен авторитет както на Лаборатория „ГЕЧ“, така и на ИЯИЯЕ като цяло. Тук по-долу са изброени с кратки анотации най-значителните научни постижения на Лабораторията през изминалия четиридесетилетен период.

(1) Квазипотенциалният подход на И. Тодоров

Този новаторски за времето си подход е едно от най-важните достижения по систематичната ковариантна формулировка на релятивисткия проблем за две тела

в квантовата теория. Предложено е и е изследвано квазипотенциално уравнение за частици със спин (носещо името "уравнение на Тодоров") като са намерени неговите решения и е приложено за описание на електромагнитно взаимодействие на система от натоварени частици със спин, в частност, то дава възможност за пресмятането на фината структура на енергетичния спектър на водородо-подобни системи. Тези резултати са намерили отражение в монографията на И. Тодоров и В. Ризов [4], която е и първият изпреварил времето си съвременен учебник по релятивистка квантова теория за напреднали студенти и докторанти в българската университетска и научна литература.

(2) Работите на И. Тодоров по аналитични свойства на диаграмите на Файнман

Монографията [3] е едно от първите оригинални, строги и изчерпателни изследвания в тази „класическа” област на пертурбативната квантова теория на полето, в това число - предложеният метод за доказателство на аналитичността на Файнмановите диаграми от произволен порядък по теория на пертурбациите в широки области в импулсно пространство. Тези резултати привличат на времето непосредствения интерес на един от „патриарсите” на физиката на елементарните частици на 20-тия век - знаменития италиански учен Т. Редже. Любопитен е и фактът, че резултатите на И. Тодоров в тази област дори днес, след повече от 40 години, представляват ценност за математиците във връзка с възродения (вече абстрактно-алгебричен) техен интерес към пертурбативната теория на пренормировките на Файнмановите диаграми.

(3) Работите на И. Тодоров по аксиоматичния подход в квантовата теория на полето

В света има три настолни монографии по аксиоматична квантова теория на полето: на Стритер-Уайтман, на Йост, и на Боголюбов-Логунов-Тодоров [1], и по-точно - на последвалото актуализирано и преработеното издание със съавтор Оксак [2]. Последната предлага най-всеобхватен, най-задълбочен и най-съвременен трактат на този основополагащ клон на теоретичната и математическа физика. Един от най-съществените и най-широко цитирани резултати на акад. И. Тодоров по тази тематика е доказателството за отсъствие на обичайната връзка между спин и статистика в квантовата теория на безкрайно-компонентни полета.

(4) Конформно инвариантна теория на полето в размерност 4

Особено широка международна известност имат приносите на акад. И. Тодоров по конформна симетрия във физиката на елементарните частици. Той, заедно с Г. Мак, А. Салам (лауреат на Нобелова награда), А.А. Мигдал, А. Поляков и няколко други учени, е един от пионерите в изследванията на конформната симетрия в квантовата теория на полето, където тя играе съществена роля при описанието на високоенергетични процеси на разсейване в квантовата хромодинамика. Конформната симетрия в различните ѝ проявления е основа на почти всички дълбоки математически и физически свойства на съвременната струнна теория. Приложенията на конформната симетрия във физиката на елементарните частици при (свръх)високи енергии днес са по-актуални от всякога предвид грандиозната

серия експерименти на големия адронен ускорител с насрещни снопове (LHC – Large Hadron Collider) в ЦЕРН, Женева, с прицел към далеч отиващи нови открития (допълнителни измерения на пространство-времето, микроскопични черни дупки, суперсиметрия и т.н.). Конформната симетрия играе фундаментална роля и в теорията на кондензираните среди при описанието на фазови преходи от втори род и критично поведение в статистико-механичните системи.

Софийската школа по конформно инвариантни теории на полето в размерности на пространство-времето по-големи от две, основана от И. Тодоров, е една от водещите в света. Другите сътрудници взимали участие в изследванията по тази тематика са В. Добрев, Р. Зайков, М. Минчев, В. Петкова, С. Петрова, Г. Сотков, Д. Д. Стаменов, Д. Стоянов, Е. Христова.

Постиженията в тази област са синтезирани в трите монографии [5,6,7] и в голямо множество престижни и високоцитирани публикации. Основният принос тук е строгият извод на операторното разложение в конформно инвариантна теория на полето. Както е известно такова разложение съдържа основната информация в теорията на елементарните частици при високи енергии. Намирането на това разложение е направено много икономично, като е използвана максимално информацията идваща от факта, че теорията е конформно инвариантна. Последното е постигнато, като е развит математически апарат на теорията на представянията, който изпревари на времето и някои изследвания на математици. Това е главното, с което софийската школа превъзхожда други световни школи по конформно инвариантни теории на полето.

Естествено продължение на тази тематика в по-късни години е главно в две направления:

(4а) Глобална конформна инвариантност

Тази програма е иницирирана в трудовете на Н. Николов и И. Тодоров. Най-забележителният резултат тук е откритието, че инвариантността относно крайни конформни трансформации в пространство-времето на Минковски и стандартните аксиоми на Уайтман водят до т.н. силна локалност между квантовите полета и до рационална зависимост от координатите на съответните корелационни функции. Това от своя страна представлява едно забележително обобщение за случая на по-високи пространствено-времени размерности на т.н. вертексни алгебри (съответстващи на алгебрите на наблюдаемите) - фундаментална структура в контекста на 2-мерните квантовополеви модели и в струнната теория.

(4б) AdS/CFT съответствие – става дума за съответствие на теория на d-мерно пространство на Минковски (или Евклид) и такава, на (d+1)-мерно пространство на анти-де Ситер (наречено “*bulk*” – пространство на влагане), на което d-мерното пространство се явява граница. Тази идея бе най-напред на Maldacena, после развита от Witten и Gubser-Klebanov-Polyakov. Тук Добрев има следния важен резултат: за Евклидовата конформна група $SO(d+1,1)$ е намерен най-общият вид на операторите изобразяващи полетата на d-мерната граница в съответните полета на (d+1)-мерното “*bulk*”-пространство. В тази работа също за пръв път се показва, че в общия случай едно поле на “*bulk*”-пространството има 2 гранични полета. Това по-късно се забелязва в работа на Klebanov- Witten, в която се цитира работата на Добрев, общо **53** цитата.

(5) Решението на релятивистката квантова задача за три тела на Д. Стоянов

В трудовете на член-кор. Стоянов по тази тематика за пръв път са изведени уравнения, аналогични на многоканалните уравнения на Липман-Швингер и са формулирани уравнения от типа на Бете-Солпитър за тричастичната функция на Грин. Тези уравнения са основа за класификация и изследване на такива процеси като: тричастично разсейване, разсейване на една частица и двучастично свързано състояние, систематично описание на тричастично свързано състояние.

(6) „Хармоничното суперпространство” на Е. Сокачев и съавтори в калибровъчни полеви теории и супергравитация с разширена суперсиметрия

Суперсиметрията е фундаментална концепция за симетрия обединяваща бозонни и фермионни степени на свобода във физиката на елементарните частици. Тя играе изключително важна роля във формулировката на теории на „великото обединение” на фундаменталните взаимодействия, вкл. и гравитацията, и предлага нови механизми за решаване на проблемите с йерархията на енергетичните мащаби на последните. За пръв път в историята на квантовата теория на полето суперсиметрията доведе до откритието на квантовополеви модели без ултравиолетови разходимости.

Добре известно е, че коректната математическа формулировка на всякакви физически реалистични модели на квантовата теория на полето изисква формализмът явно да запазва всички присъщи на описваните явления симетрии. И тъкмо тук има място един от най-значителните „пробиви” в развитието на суперсиметричната квантова теория на полето - новаторското откритие на руско-българската Дубненска група (В. Огиевецки, Е. Сокачев, А. Галперин, Е. Иванов и С. Калицин) на разширение от фундаментално нов тип на обичайното пространство-време на Минковски, наречено „хармонично суперпространство” (harmonic superspace). Това дава възможност за математически строго извеждане от първи принципи на динамиката в калибровъчни полеви теории и супергравитация с разширена суперсиметрия от самосъгласуван лагранжев принцип на действието в термини на неограничени суперполета извън масовата повърхност.

Работите на Е. Сокачев от този цикъл имат над 2000 цитата.

(7) Работите на С. Петков по неутринни осцилации

Публикациите на С. Петков (частично в съавторство с П. Кръстев и С. Тошев) са основополагащи и са сред водещите в световен мащаб в теорията на неутринната физика и по-специално - в теорията на масивните неутрина и неутринните осцилации. Тези трудове имат съществен принос при определяне вида на неутринните осцилации - дали осцилациите стават при движението им от Слънцето към Земята, т.е. във вакуум, или от централната част на Слънцето, т.е. във среда. Предложени са и ред тестове за определяне вида на неутриното – Дираково или Майораново, както и тестове за определяне CP-инвариантността при неутринните осцилации.

Показателна е и поканата от водещото световно физическо списание с най-голям импакт фактор „*Review of Modern Physics*” за обзорна статия по тази особено актуална тематика. Работите на С. Петков в този цикъл имат общо над 2800 цитата.

(8) Работите на И. Костов по случайни повърхнини в теория на струните и статистическата физика

Работите на И. Костов (самостоятелно и в съавторство с А.А. Мигдал, В. Казаков и др.) са сред основополагащите в областта на теория на случайните повърхнини в контекста на непертурбативния подход към гравитацията и теорията на струните основани на модели със случайни матрици. Главната новаторска идея тук е да се построи дискретен аналог на струната на Поляков, който може да се изучава с аналитични и числени методи. Тези работи получават над 1600 цитирания. Особено първите две са сред работите довели до истински взрив от активност по матрични модели в годините 1987 до сега.

(9) Работите на В. Петкова по калибровъчни теории на решетка и проблемите на "удържане на кварките"

Три работи на В. Петкова (в съавторство с G.Mask) са сред основополагащите и широко цитирани (с над 370 цитата) работи по анализа на удържане на кварки в калибровъчни решетъчни теории - един извънредно труден проблем, нерешен строго и досега. Предложението от тях модифициран калибровъчен модел, който позволява да се докаже удържането на кварки в широка област по константата на връзка, е известен като "модел Mask-Petkova". Един от най-значителните резултати тук е формулировката на едно достатъчно условие за удържане, интерпретирано като механизъм за кондензация на „вихри” (непертурбативни „солитонopodobни” конфигурации на калибровъчните степени на свобода).

(10) Работите на Е. Нисимов и С. Пачева по ковариантно квантуване на суперсиметрични струни

Този цикъл работи (част от тях в съавторство със С. Соломон) с повече от 440 цитирания е пионерски принос по един от централните проблеми в теорията на струните с пространствено-временна супериметрия. По-конкретно, 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 релятивистично нековариантен начин. Наивното прилагане на стандартната процедура за квантуване води до загуба на явната релятивистична инвариантност на теорията. Тук за първи път в литературата е предложена и разработена идеята за въвеждане на допълнителни спинорни бозонни координати – т.н. „спинорно-бозонно хармонично суперпространство”, представляващо нетривиално обобщение на споменатите по-горе в т.(б) хармонични суперпространства на Огиевецки-Сокачев и сътрудници. Тази съществено нова конструкция дава възможност за явно ковариантно квантуване на суперструните запазващо суперсиметрията (супер-Поанкаре инвариантността в обемащото пространство-време), което е от първостепенна важност за приложенията на суперструнните модели във физиката на свръхвисоките енергии.

Същата конструкция е използвана и за решаване на друг прословут нерешен от десетилетия проблем – явно ковариантната относно суперсиметрията формулировка на суперкалибровъчни теории в пространство-време с по-висока размерност (или, съответно, с разширена суперсиметрия) в термини на суперполета извън масовата повърхност.

Подходът на Нисимов-Пачева-Соломон послужи като непосредствено вдъхновение за формулировката на широко известния и прилаган понастоящем “*pure-spinor*” формализм на Н. Берковиц.

(11) Работите на В. Добрев и В. Петкова по конформна суперсиметрия

Най-важният резултат тук е пълната класификация на унитарните представяния с положителна енергия на конформната супералгебра в 4-мерно пространство време $su(2,2/N)$. Този резултат има 200 цитата и намира много приложения в струнните теории, вкл. цитиран е и от E.Witten. Резултатът се базира на още 2 работи (със **70** и **28** цитата, съответно), в които е подробно разработена теорията на индуцираните представяния за случая на конформната супералгебра $su(2,2/N)$ и супергрупа $SU(2,2/N)$.

Трябва да се подчертае, че изследванията по конформна суперсиметрия продължават с работи на В. Добрев по пълна класификация на унитарните представяния с положителна енергия на конформната супералгебра в $D=6$ -мерно пространство-време $osp(8^*/2N)$ и аналогична класификация за супералгебрата $osp(1|2n, R)$, приложима за $D=9,10,11$ -мерно пространство-време.

По-ранни резултати по $N=1$ конформна суперсиметрия са получени в работи на чл-кор. Д. Стоянов и сътрудници (С. Петрова, В. Молотков, С. Михов, Б. Анева).

(12) Работите на И.Тодоров-Я.Станев-Л.Хаджииванов, В.Петкова-А.Ганчев, В.Добрев и сътрудници, по квантови групи

Квантовите групи са една нова област в теоретичната и математична физика, която получи бурно развитие в последните 10 години. И тук чисто математическите развития и тяхното приложение в квантовата теория на полето вървяха ръка за ръка, и софийската група бе сред водещите в света.

Акад. И.Тодоров и сътрудници (Р. Паунов, Г. Сотков, Я. Станев, и Л. Хаджииванов) развиват подход, в който квантовите групи се интерпретират като обобщени вътрешни симетрии на двумерни квантовополеви модели, а съответната обобщена статистика се изучава чрез т. нар. монодромни представяния на групата на плитките (свързани например с решенията на уравнението на Книжник-Замолодчиков за корелационните функции във Wess-Zumino-Novikov-Witten модели).

А.Ганчев и В.Петкова са сред първите изследвали квантово-групови структури в двумерните конформни теории на полето. Анализът на неразложимите представяния при деформационен параметър корен от единицата позволи да се докаже, че полиномиалните уравнения за квантовите b_j -символи са съгласувани с правилата за сливане в минималните модели на Вирасоро и да се изведе общата формула за матриците на сплитане за тези модели, дотогава известна само в частни случаи.

В. Добрев развива теорията на представянията на квантови групи, в частност на некомпактни квантови групи (общо над 440 цитата и монография [12]). Най-важният резултат тук е предложената канонична процедура за q -деформациите на реалните некомпактни форми на простите комплексни (супер-)алгебри на Ли. Друг важен резултат в работа на В. Добрев и сътрудници (С. Михов и С. Стоименов) е развитата процедура за получаване на неизвестна отнапред квантова алгебра дуална на зададена матрична група. Също така предложена е нова

деформация на пространство-времето на Минковски. Това е единствената деформация на пространство-времето на Минковски съвместима с деформация на конформната алгебра и на уравненията на Максвел. Има и пионерска работа в разглеждането на представяния на Жордановата деформация на квантовата група $U_h(sl(2))$.

(13) Работите по двумерни модели на квантовата теория на полето

Двумерните конформни теории (благодарение на струнната революция) са сред най-активно изучаваните теории в последните 10 години включващ вероятно хиляди статии. Своя съществен принос към тази проблематика са дали и няколко софийски групи. По-горе в т.(12) вече споменахме серията работи на акад. Тодоров и сътрудници (Р. Паунов, Г. Сотков, Я. Станев, и Л. Хаджииванов) по квантови групи като обобщени вътрешни симетрии на 2-мерни модели.

Работите на В. Петкова по недиагонални локални корелатори позволиха да се изведе (в съавторство със Ж.-Б. Зюбер) универсална формула за структурните коефициенти в операторни разложения и да се направи връзка с класификацията на графи, характеризиращи модулари инварианти.

Серия от работи (общо с над 400 цитата) на Ганчев, Паунов, Петкова (в съавторство с П. Фурлан, Ж. Уотс) са посветени на различни проблеми в моделите на Вес-Зумино-Виттен (WZW). Особено цитирана е работата с предложена нова формула за кратностите на правилата на сливане (една от основните структури на двумерните конформни модели) за интегрируеми представяния на алгебрите на Кац - Мути. Авторите са едни от първите, които развиха WZW моделите в случая на неинтегрируеми представяния с рационални тегла и нива на афинни алгебри. Това позволи да се обобщи и квантовата редукция на Дринфелд-Соколов - един основен инструмент за получаване на нови двумерни конформни модели от простите модели на Вес-Зумино-Уитен - на ниво корелатори, диференциални оператори и сингулярни вектори в модули на Верма.

Едно от активно развиваните направления по тематиката за 2-мерните квантовополеви модели са изследванията по т.н. некритични струни. Развитието на нерационални конформни теории на полето позволи да се реши една стара задача за пресмятане на 4-точкови тахионни корелатори в некритични лиувилеви струни, както и да се направи сравнение с аналогични резултати, получени в подхода основан на матрични модели (В. Петкова в съавторство с И. Костов).

В цикъл работи на Н. Илиева и създателя на първия точно решаем релятивистки квантово-полеви модел В. Тиринг (Виенски университет) е изследван проблемът за бозонно-фермионната дуалност и обобщените статистики в 2-мерно пространство-време и е предложена единна конструкция на полеви оператори с различна статистика при крайни температури.

(14) Работите на Я. Станев по вакууми в суперструнната теория

Един от централните проблеми в струнната "феноменология", т.е., построяването на физически реалистични модели на елементарните частици в нискоенергетичната граница на суперструнната теория е въпросът за физически релевантните вакууми (основни състояния) в суперструнната динамика. В серия работи на Я.Станев в сътрудничество с група италиански физици се изследват подробно различни механизми за компактификация на допълнителните измерения и връзката на геометрията на пространството на тези допълнителни измерения (комплексни многообразия от тип Калаби-Яо) с реално наблюдавания спектър и характеристики на частиците в обичайното 4-мерно пространство-време.

Този цикъл трудове има повече от 400 цитирания.

(15) Теория на представянията на безкрайно-мерните (супер) алгебри

Двумерните конформни теории стимулираха много и чисто математически развития по теорията на представянията на безкрайно-мерните (супер) алгебри, в които взеха участие и много физици. Софийската школа и тук бе сред водещите. Най-известна е работата на акад. Тодоров с прочутия американски математик (от руски произход) В. Кац с над 80 цитата.

Важни работи по тази тематика има също В. Добрев (с общо над 160 цитата). Най-същественят тук резултат е намирането на характеристиките на $N=2$ супералгебрите на Вирасоро. Този резултат е широко използван в двумерната теория на полето и в теорията на струните. Има вече **92** цитата, между които цитат от *E.Witten* и 2 цитата от В. Кац.

(16) Работите на Ч. Палев и Н. Стоилова по обобщени квантови статистики и представяния на супералгебри на Ли

(16a) Работите на акад. Ч. Палев са пионерски в областта на обобщените статистики и той е един от световно признатите експерти в тази област. Въведените от него през 70-те статистики свързани с прости алгебри на Ли са много актуални днес и са свързани с придобилите известност статистики на Халдейн. Ч.Палев равива теорията на представянията на квантовите супералгебри, съответстващи на базисните класически супералгебри на Ли.

Чавдар Палев въвежда алгебричен подход за обобщение на квантовата статистика, т.е. на статистиките на Бозе-Айнщайн и Ферми-Дирак, както и на техните обобщения – парастатистиките на Грийн, за които той доказва, че съответствуват на различни представяния на алгебри или супералгебри на Ли от клас "В". Тези резултати дават определен алгебричен смисъл на известните статистики и стават начало за много интересни обобщения. Палев въвежда понятието Вигнерова квантова система и изследва физичните свойства на такива системи. Оказва се, че геометрията на тези системи е некомутативна, което днес е едно от важните направления във физика на елементарните частици. Въведената от него „А” статистика е известна и се цитира днес като „статистика на Палев”. Математичният апарат при изследване на тези системи е теорията на представянията на базисните супералгебри на Ли – той построява в явен вид крайномерни представяния на супералгебри на Ли, като дефинира аналог на базиса на Гелфанд-Цетлин за тях. (известни са над 500 цитата на тези работи). Ученичката на Ч. Палев, Н. Стоилова построява в явен вид парабозонното пространство на Фок в явен вид - проблем поставен за решаване още п

рез 1953г. от Грийн.

Цикълът трудове по обобщени квантови статистики и представяния на супералгебри на Ли има около 1000 цитирания.

(16б) Акад. Ч. Палев е учен със забележително висок международен авторитет. Това най-добре личи от отзивите за него в писма на редица световноизвестни учени – физици и математици. Така например, проф. С. Окубо (*S. Okubo*, учен на Нобелово ниво) в покана до Ч. Палев пише:

„Чел съм с интерес много Ваши отлични публикации по супералгебри на Ли и парастатистика. Наистина ще се радваме да имаме такъв изтъкнат физик като Вас в нашия факултет”.

Друг изтъкнат учен проф. Х.Грин (*H.S. Green*), откривател на парастатистиките в квантовата теория, в препоръка за Ч. Палев казва:

„Професор Палев е един от най-добрите, може би дори най-добрият, сред многото талантливи учени на България. Той се отличава не само с високото качество на публикациите си, но и с водещото си място в международната общност в онова, което в значителна степен благодарение на неговите усилия, се е превърнало в една от най-бързо развиващите се области на физиката на високите енергии.”

Професор Д. Финкелстейн (*D.R. Finkelstein*), 30 години главен редактор на престижното “*International Journal for Theoretical Physics*”, в препоръка за Ч. Палев пише:

„Тези открития на проф. Палев са важни за физиката, защото статистиката на Палев и методът на квантуване имат потенциала да дадат определени отговори на въпроси, на които обичайните теории дават безсмислени, неопределени отговори. В същото време, новите квантови константи, въведени от неговата теория, могат да се регулират така, че теорията му да се съгласува в рамките на експерименталната грешка със стандартната теория в настоящата експериментална област. Накратко, квантовата теория на Палев се отнася към съществуващата квантова теория така, както съществуващата квантова теория – към класическата механика и електромагнетизма....С най-новата си статия, в която прилага парастатистика към модела на Хъбард, Палев показва, че продължава да разширява по блестящ начин пределите на математическата физика. Рядкост е една личност да съчетава математическо и физическо въображение и креативност с такава висока практическа стойност. Членството му в Българската академия на науките ще допринесе за престижа на тази институция.”

(17) Нови работи по тема „Квантова теория на полето, квантови групи и квантови статистики”

В момента групата работеща по тази тематика включва акад. Иван Тодоров, акад. Чавдар Палев, доц. д-р Людмил Хаджииванов (координатор), доц. д-р Александър Ганчев, доц. д-р Лъчезар Георгиев, доц. д-р Недялка Стоилова, доц. д-р Николай Николов, гл.ас. д-р Тодор Попов и гл.ас. Владимир Молотков.

Изследванията са концентрирани в изучаването на различни (пространство-времеви и вътрешни) симетрии и статистики, естествено възникващи в

съвременната квантова теория на полето, както и на общи теоретични проблеми като квантуване и пренормировки (процедури за отстранение на ултравиолетови разходимости). Някои открития, направени напоследък, като квантовият (и, по-специално, дробният) ефект на Хол и графенът привлякоха вниманието на физическата общност към процеси, описващи се от квантовополеви модели в ниски пространствени размерности, отваряйки вратата към обобщени (Хопфови, или „квантови“) симетрии и статистики, свързани с групата на плитките вместо с „обичайната“ група на пермутациите. По-горе, в т.(12) бяха вече споменати сериите трудове по тематиката на квантовите групи на И.Тодоров-Я.Станев-Л.Хаджииванов, В.Петкова-А.Ганчев, В.Добрев и сътрудници (С. Михов и С. Стоименов).

Подобни структури възникват в подхода на Кон и Краймер към теория на пренормировките на Файнманови диаграми, които са градивен елемент на всяка квантово-полева теория с нетривиално взаимодействие. Модерното третиране на този кръг от проблеми свързва различни области на математиката като алгебра, функционален анализ, диференциална геометрия и комбинаторика и така оформя забележително богата част на математичната физика. От друга страна, тази област отваря интересни възможности за практически приложения, например в (топологичните) квантови компютри, които привличат напоследък голям интерес.

Повечето от публикуваните резултати на групата са докладвани на международни конференции и семинари в Австрия, Германия, Италия, Франция, Швейцария, Русия и др. и са резултат на реално международно сътрудничество. За отбелязване е изключително доброто развитие на по-младите сътрудници - Н. Николов, Н. Стоилова и Л. Георгиев спечелиха Хумболдтови стипендии. Н. Стоилова също така работи дълго време с европейски стипендии в Белгия, а всички те, заедно с Т. Попов, бяха канени многократно за съвместна работа от международно известни учени. Двама защитиха успешно докторски дисертации - Н. Николов през 2002 г., а Т. Попов - през 2003 г.

През 2010 г. бе публикувана **монографията на И. Тодоров и Л. Хаджииванов** [11] която е значително разширена версия на курса лекции, прочетен от акад. Иван Тодоров по време на посещението му във Факултета по физика на Федералния университет UFES (щата Виктория, Бразилия) през есента на 2007 г. Водени от идеята да бъдат изложени по достъпен и самосъгласуван начин необходимите начални сведения за основните модели на двумерната конформна теория на полето и техните статистически свойства и симетрии, авторите запознават читателя с математични обекти като групите на пермутациите и на плитките, комплексните алгебри на Ли, алгебрите на Хопф, както и с конформната симетрия в две и повече размерности на пространство-времето и аксиоматичната теория на полето. Изложението съдържа оригинални резултати на авторите от последните години и е съпроводено от много примери и упражнения, библиографични и исторически справки.

(18) Работите по квантова хромодинамика и обобщения на стандартния модел на силните и електрослабите взаимодействия

(18a) Спинова структура на нуклона (Д. Стаменов и Е. Христова)

Изучаването на вътрешната спинова структура на нуклона, т.е., какъв е приносът на спина на кварките и глюоните и техните орбитални моменти в спина на нуклона, е една от важните теми в съвременната физика на елементарните частици. Информация за структурата на нуклона получаваме главно от данните на експериментите по дълбоко нееластичното инклузивно и полу-инклузивно разсейване на поляризирани лептони от поляризирани нуклони в CERN (Geneva), DESY (Hamburg), SLAC и Jefferson Laboratory (JLab), USA, както и от поляризираните протон-протонни стълкновения на ускорителя RHIC (Brookhaven). Теоретичен анализ на тези данни в рамките на Квантовата хромодинамика (КХД) е проведен от Д. Стаменов в сътрудничество с Е. Лидер (Империял Колеж, Лондон) и А. Сидоров (ОИЯИ, Дубна). За първи път беше показано, че непертурбативните поправки по $1/Q^2$ към спиновите структурни функции на нуклона (Q^2 е предадения импулс от фотона към нуклона) трябва да бъдат отчетени в анализа на данните, за да бъдат определени коректно спиновите разпределения на кварките и глюоните в нуклона. Фортранни пакети, съдържащи информация за спиновите партонни разпределения, са представени на Интернет страницата на Университета в Durham <http://durpdg.dur.ac.uk/HEPDATA/PDF> и широко се използват от експериментатори и теоретици в Монте Карло симулациите и пресмятанията на сеченията на разсейване за настоящите и бъдещи експерименти с поляризирани частици. На базата на получените резултати бяха направени оценки за много по-голямата точност, с която ще бъдат определени спиновите партонни разпределения от планираните експерименти на бъдещия 12 GeV-ен електронен ускорител в *Jefferson Lab* (САЩ) - проект "*The Longitudinal Spin Structure of the Nucleon*" на колаборацията *CLAS'12*, в която участва Д. Стаменов.

Нов подход за определяне както спиновите разпределения на валентните Δu_v и Δd_v кварки, така и несинглетните комбинации на фрагментационните функции, като се избягват каквито и да било допълнителни предположения, беше предложен от Е. Христова и Е. Лидер. Предложеният подход съществено увеличава точността и е възприет от различни водещи световни лаборатории: През 2004г. в *Jefferson Lab* е прието предложение за измерване на валентните кварки - експеримент PRE-04-113, през 2007г. в CERN за пръв път определят директно $\Delta u_v + \Delta d_v$, а съвсем неотдавна DESY представи резултати по измерване на Δu_v и Δd_v поотделно. Използвайки този метод същата група получават за пръв път фрагментационните функции на пиона директно от експеримента. Те са използвани широко в експериментите RHIC и BRAHMS в BNL (САЩ).

Групата работи по спинова структура на нуклона има над 800 цитирания.

(186) Физика извън стандартния модел (Е. Христова и Е. Гинина)

Въпреки, че Стандартният Модел (СМ) описва със забележителна точност съществуващите експериментални данни и всички негови предсказания са потвърдени, съществуват ред трудности, които показват че СМ не е окончателната теория на елементарните частици. Най-привлекателните обобщения са минималното суперсиметричното разширение на СМ (МССМ) и модели с два Хигсови дублета (2HDM).

Ефекти на CP-нарушение са наблюдавани при разпадите на K и B мезоните, те са малки и прекрасно се описват от СМ, в който има само една CP-нарушаваща

фаза. За описване обаче на съществуващата асиметрия на материя и антиматерия във Вселената е необходимо много повече CP нарушение. Възниква въпросът – може ли МССМ, в който има допълнителни източници на CP-нарушение, да опише наблюдаваната асиметрия.

В серия от работи Е. Христова, в колаборация с група от Института по физика на високите енергии и Университета във Виена, към която по-късно се присъединява и успешната докторантка Е. Гинина, се предлагат ред CP-нарушаващи ефекти като тест за МССМ и за 2HDM. Разгледани са два типа процеси - с топ-кварки и със заредени Хигс бозони. Получени са аналитични изрази за сеченията и е проведен детайлен анализ на очакваните ефекти в зависимост от параметрите на модела. В МССМ са пресметнати напълно електрическият и слабия формфактори на топ-кварка..

Цикълът трудове по CP-нарушение и МССМ са получили над 330 цитирания.

(19) Работите по конформни теории на полето с граници

Основни приноси към развитието на конформните полеви теории с граници имат Я. Станев (в съавторство с Pradisi и Sagnotti, с над 500 цитирания) и В. Петкова (работи с Behrend, Pearce, Zuber и само със Zuber, с общо над 500 цитирания). В много цитирана работа (Pradisi, Stanev, Sagnotti) е предложен оригинален извод на формулата за относителните скаларни коефициенти в операторни разложения за серия недиагонални локални полета, като са използвани основни уравнения на теории с граници (Pradisi, Stanev, Sagnotti). Изводът, обобщен за всички ADE-теории (Behrend, Pearce, Petkova, Zuber), възпроизвежда емпирично получената формула в работа на В. Петкова и Ж.-Б. Зюбер, цитирана по-горе. Важен резултат (Behrend, Pearce, Petkova, Zuber, както и частично и независимо, Станев) е доказателството, че класификацията на конформно инвариантните гранични условия се свежда до класификацията на неотрицателни целочислени матрични представяния на алгебрата на Верлинде. Този многократно цитиран резултат позволи да се опишат граничните условия за различни модели.

Пионерска е работата (В. Петкова с J.-В. Zuber), в която са въведени оператори, задаващи топологични дефекти. Алгебричната дефиниция на тези обекти намери много приложения и, в частност, позволи да се направи връзка с дълбоки математични резултати на А. Окнеану, като се идентифицират квантовите симетрии на рационалните конформни теории с квантовите алгебри на Окнеану (или «слаби алгебри на Хопф»). В работа на Петкова е показано и как присъствието на такива оператори модифицира разложенията на операторни произведения в рационални и нерационални теории; резултатът намира приложение при доказателството на дуалността на операторите на Уилсън и 'т Хофт и тяхната 2-мерна реализация (във връзка с т.н. хипотеза на AGT).

(20) Работите на Г.Сотков и М.Станишков по суперконформни минимални модели в двумерната квантова теория на полето

Класът на минималните суперконформни полеви модели играе съществена роля при описание на динамиката в струнната теория.

В този цикъл трудове са намерени правилата на сливане на суперполетата и е показано, че съществуват четни и нечетни такива. Намерени са и някои специфични структурни константи. Докато $N=1$ суперконформните теории са естествено обобщение на обикновените конформни полеви теории, то $N=2$ суперконформните теории са съществено различни. За тях са намерени структурните константи чрез връзката им с двумерни сигма-моделите от тип Вес-Зумино. Тези резултати са използвани за намиране на спектъра и константите на връзка в специфични струнни компактифицирани теории. Всички тези резултати са обобщени за теории върху риманови повърхнини, които са важни за пертурбативното описание на струнната динамика.

В друга част от работите са построени специфични произведения на т.н. минимални суперконформни полеви модели и се доказва, че по-висшите такива не са независими. Изследвано е едно възможно обобщение на двумерните конформни полеви теории с по-висок спин, инвариантни относно т.н. W -алгебри (обобщения на обичайната конформна алгебра на Вирасоро). За тях е показано, че играят важна роля в геометричното описание на струни с афинна симетрия, съдържащи полета с по-висок спин.

Работите на Г. Сотков и М. Станишков от този цикъл са получили над 450 цитирания.

(21) Работите на Е. Нисимов и С. Пачева по интегрируеми системи

Теорията на интегрируемите динамични системи (солитонни теории), и преди всичко - на безкрайно-мерните теоретико-полеви интегрируеми модели, заема централно място в съвременната теоретична физика. Едно от фундаменталните свойства характеризиращи класическите (неквантувани) теоретико-полеви интегрируеми системи е наличието в тях на безкрайни системи от независими интеграла на движение в инволюция (законали за запазване). Тук за пръв път в литературата в цикъл трудове (някои в съавторство с П. Кулиш и И. Арефьева) бе дадено решение на изключително важния въпрос за правилната процедура на квантуване, при което се отстраняват по систематичен и самосъгласуван начин естествено възникващите при квантуването аномалии в резултат на регуляризацията и пренормировката на присъщите за всяка квантово-полева теория ултравиолетови разходимости. Така явно построените по тази нова процедура висши квантови закони за запазване в 2-мерните квантувани интегрируеми полеви модели се превърна в основната предпоставка за тяхното последвало знаменито точно решение от А. Замолодчиков и Ал. Замолодчиков.

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 безкрайномерни групи на Ли с централни разширения. В друга серия работи (в сътрудничество с Х. Аратин) е предложен нов общ и систематичен геометричен подход за описание и намиране на явни непертурбативни решения в контекста на съвременните струнни теории на елементарните частици.

В трети цикъл работи по тази тематика (много от тях в сътрудничество с Х. Аратин) 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 образуващи нетривиална безкрайномерна алгебра от типа на Кац-Мури. 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.

Работите на Е. Нисимов и С. Пачева по интегрируеми системи са получили общо над 460 цитирания.

(22) Работите на П. Божилов по интегрируемост в контекста на гравитационно-теоретикополевата дуалност в струнната теория

В момента най-перспективният кандидат за единна теория на взаимодействията на елементарните частици е теорията на суперструните. Суперструнната динамика обединява всички фундаментални взаимодействия между елементарните частици, включително гравитацията, при свръхвисоки енергии. Едно от най-бързо развиващите се направления на изследване се основава на идеята на Maldacena за съответствие между струни и калибровъчни теории, известна още като AdS/CFT дуалност. Последните достижения в тази област са свързани с намирането на потвърждения на хипотезата на Малдасена отвъд т.н. супергравитационно приближение.

През 2008 г. беше предложена нова дуалност от този тип – съответствие между струнна теория с динамика върху 10-мерно пространство-време AdS₄ x CP³ и N=6 суперсиметрична Chern-Simons теория с материя в 3-мерно пространство-време. Използвайки тази хипотеза, в цикъл работи на П. Божилов (общо с над 230 цитирания) се решава същественият въпрос за редукция на струнната динамика за този случай до интегрируема многочастична система на Neumann-Rosochatius. В качеството на важно приложение се анализират два типа солитонни струнни решения и ефектите на крайния размер върху съответните дисперсионни съотношения.

(23) Работите на Е. Нисимов и С. Пачева по непертурбативни аспекти в квантовите калибровъчни теории на полето

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: (а) динамично пораждане на маси, вкл. калибровъчно инвариантни маси за глюони - това е принципно нов механизъм отличен от стандартния механизъм на Хигс; (б) 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-временни симетрии; (в) удържане (*confinement*) на частици в някои от фазите и тяхното освобождаване (*deconfinement*) в други фази; (г) 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; (д) пренормируемост на непертурбативни (по

наивната теория на пертурбациите) модели, вкл. такива съдържащи 4-фермионни взаимодействия. В качеството на частен случай тук за пръв път е построена явно (и пренормируема в рамките на непертурбативното $1/N$ -разлагане) 3-мерна суперсиметрична конформно-инвариантна калибровъчна теория.

Намерени са и подробно са 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.

Работите на Е. Нисимов и С. Пачева по тематиката „непертурбативни аспекти в квантовите калибровъчни теории на полето” имат над 220 цитирания.

(24) Работите на Б. Иванов по точни решения на уравненията на общата теория на относителността в релятивистката астрофизика

Релятивистката астрофизика изучава модели на звезди, както и колапсът на различни флуиди. В последните години са постигнати следните по-важни резултати:

1) Сферично-симетричните модели, описващи звезди, могат да съдържат идеален флуид, флуиди с два типа вискозитет, електрично заредени флуиди, модели, които излъчват топлинен поток или безмасова радиация. Показано е, че всеки от тези модели може да бъде представен като ефективен анизотропен модел с топлинно излъчване.

2) Изучено е гравитационното поле на анизотропен сферично-симетричен флуид без отместване. Всичките му характеристики са изразени чрез един основен потенциал, който удовлетворява обикновено диференциално уравнение от втори ред. Намерени са много нови аналитични решения, а класическите резултати за идеални флуиди са изведени в рамките на този нов подход.

3) Изучено е гравитационното поле на сферично-симетричен, анизотропен и геодезично движещ се флуид. Всичките му характеристики са изразени чрез един главен потенциал, който удовлетворява обикновено диференциално уравнение от втори ред. Дадени са нови решения и са изведени като частни случаи класическите резултати за идеален флуид и прах. Намерени са много решения с електрически товар, конформно плоски или с линейно уравнение на състоянието между радиалното и тангенциалното налягане, включително и само с радиално налягане.

(25) Работите на Е. Нисимов и С. Пачева по мембрани във физиката на черни дупки, космологията и елементарните частици

В серия трудове (в съавторство с Е. Генделман и А. Каганович) за пръв път в литературата 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 особено важния и интересен в астрофизиката (а в последно време и в струнната теория) клас на т.н. светоподобните мембрани. Едно от първите и най-забележителни приложения на тази нова конструкция 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”). Именно, бе показано, 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 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; нов тип „мембранни вселени” – алтернативи на знаменитите „мембранни вселени” от тип *Randall-Sundrum*; нов механизъм за спонтанна компактификация и декомпактификация на измерения на пространство-времето; скриване и/или удържане на електрически товари (charge hiding/confinement) с помощта на “wormholes”.

(26) Работите на Н. Николов по кохомологичен анализ на аномалиите в теория на пренормировките над конфигурационно пространство

Теория на пренормировките в конфигурационно пространство има прост геометричен смисъл, който е забелязан още от основоположниците на областта: Щюкелберг, Боголюбов, Епщайн и Глазер, Стора. Това е фактът, че подинтегрални функции на Файмановите интеграли са добре определени обобщени функции (разпределения) при несъвпадащи пространствено-времени аргументи и , съответно, процедурата на пренормировки се състои в продължаването им до глобално определени разпределения. В работите на Н. Николов е изложен кохомологичен анализ на аномалиите в квантовата теория на полето базиран на този геометричен принцип. По такъв начин тези аномалии се характеризират с геометричните свойства на йерархията от диагонали в пространство-времето.

(27) Участие в интердисциплинарни изследвания

Интердисциплинарните изследвания и трансфера на знания между различни области на науката и високите технологии са сред основните приоритети на научно-техническото и технологичното развитие на съвременния етап. С преноса на знания, методи и методики от природните науки към науките за живата материя и с обединението на опита, експертизата и усилията на представители на тези два класа науки – физици, химици, биолози, фармаколози, медици – са свързани надеждите за сериозен напредък в решаването на проблеми с голямо социално-икономическо значение, като профилактиката и лечението на онкологичните, нервно-дегенеративните и аутоимунните заболявания.

В тази посока са съсредоточени усилията на една от работните групи на **Националния център за върхови постижения „Суперкомпютърни приложения”**¹, която се занимава със суперкомпютърни симулации на биологични молекули и системи и обединява физици, химици, биолози и

¹ <http://parallel.bas.bg/SuperCA++/index.html>

информатици от три факултета на СУ „Св. Кл. Охридски” и три института на БАН (от ИЯИЯЕ – Н. Илиева). Дългосрочната цел на колектива е разработването на лекарствен препарат на базата на иновативен подход към терапията на множествената склероза (МС). Предложен е многостепенен механизъм на свързване на hIFN γ (*human interferon gamma gene*) с извънклетъчните му рецептори и е селектиран малък набор мутантни форми с перспективни от гледна точка на терапевтичната методика свойства. Тези мутанти се изследват експериментално, като резултатите са в добро съгласие с моделните предсказания.

Г. Международни проекти и мероприятия

Значителен брой членове на Лабораторията са участвали в големи международни колективи на научни мрежи финансирани от Европейската Комисия по 5-та, 6-та и 7-ма рамкови програми:

- (а) FP5 Research Training Network “*EUCLID*” **HPRN-CT-2002-00325**;
- (б) “*Constituents, Fundamental Forces and Symmetries of the Universe*” – FP6 Marie Curie Actions, Research Training Network, Project **MRTN-CT-2004-005**;
- (в) “*Tools and Precision Calculations for Physics Discoveries at Colliders*” – FP6 Marie Curie Research Training Network, HEPTools, **MRTN-CT-2006-03550**;
- (г) TMD network “*Mapping out the Transverse Structure of the Nucleon*” of the FP7 Hadron Physics2 Project;
- (д) EU 7-th Framework “*Partnership for Advanced Computing in Europe*” (PRACE AISBL) - projects RI-261557 and RI-283493

Лабораторията е ядро на организационните комитети на редица организирани от ИЯИЯЕ представителни международни (или с международно участие) научни мероприятия като:

- (1) *Българска национална школа по физика на елементарните частици и квантова теория на полето* (през 1975, 1977, 1978, 1980, 1982, 1984, 1986 и 1987 год.);
- (2) *XIII-та международна конференция по диференциално-геометрични методи във физиката* (1984 год.);
- (3) *XVI-ти международен колоквиум по групово-теоретични методи във физиката* (1987 год.);
- (4) *Лятна школа за млади учени на ЦЕРН в гр. Варна* (1987 год.);
- (5) Второ работно съвещание „*Нови тенденции в квантовата теория на полето*” (1995 год.);
- (6) Годишни конференции на *Европейските научни мрежи EUCLID* (по 5-та европейска рамкова програма) в гр. Созопол (2004 год.) и „*Forces- Universe*” (по 6-та европейска рамкова програма) в гр. Варна (2008 год.);
- (7) Серията международни конференции „*Теория на Ли и приложенията ѝ във физиката*” (гр. Варна - 2003, 2005, 2007, 2009 и 2011 год.).

Във всички изброени по-горе мероприятия бе привлечен внушителен брой водещи световно-известни чуждестранни учени в качеството на лектори.

Цитирана литература

- [1] N.N. Bogolyubov, A.A. Logunov, **I.T. Todorov**, “*Axiomatic Quantum Field Theory*”, 708 pages, Addison-Wesley/W.A. Benjamin (1975).
- [2] N.N. Bogolyubov, A.A. Logunov, A.I. Oksak, **I.T. Todorov**, “*General Principles of Quantum Field Theory*”, 694 pages, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, (1990).
- [3] **I.T. Todorov**, “*Analytic properties of Feynman diagrams in quantum field theory*”, 152 p, translated by Cl. Risk, Pergamon Press, Oxford (1971).
- [4] **И.Тодоров, В. Ризов**, „*Задачата за две тела в квантовата теория*”, Наука и изкуство (1974).
- [5] **V.K. Dobrev, G. Mack, V.B. Petkova, S.G. Petrova, I.T. Todorov**, “*Harmonic Analysis on the n -Dimensional Lorentz Group and its Application to Conformal Quantum Field Theory*”, 280p., Lecture Notes in Physics 63, Springer-Verlag, Berlin (1977).
- [6] **I.T. Todorov, M.C. Mintchev, V.B. Petkova**, “*Conformal invariance in quantum field theory*”, 273 p, Scuola Normale Superiore, Pisa (1978).
- [7] **I.T. Todorov**, “*Local Field Representations of the Conformal Group and their Applications*”, in: Mathematics + Physics Lectures on Recent Results, Vol.1, Ed. L. Streit (World Scientific, Singapore 1985) pp. 195-338.
- [8] **I.T. Todorov**, “Conformal description of spinning particles”, 74 p., Trieste Notes in Physics, Springer, Berlin (1986).
- [9] P. Furlan, **G. Sotkov, I. Todorov**, „*Two-Dimensional Conformal Quantum Field Theory*”, La Rivista del Nuovo Cimento, vol.12, no.6 (1989).
- [10] **I.T. Todorov, Ya. S. Stanev**, “*Chiral Current Algebras and 2-Dimensional Conformal Models*”, 133 p., Lectures delivered at the Troisi`eme Cycle de la Physique en Suisse Romande, Lausanne (1992).
- [11] **I. Todorov, L. Hadjiivanov**, „*Quantum Groups and Braid Group Statistics in Conformal Current Algebra Models*”, Editora da Universidade Federal do Espirito Santo, Brazil (2010).
- [12] **V.K. Dobrev**, “*Representations of Quantum Groups and q -Deformed Invariant Wave Equations*”, Dr. Habil. Thesis, Tech. Univ. Clausthal 1994, (Papierflieger Verlag, Clausthal-Zellerfeld, 1995).