

# РЕЗЮМЕ НА ПОСТИЖЕНИЯТА

и тяхното значение за развитието на науката в България

на кандидата за участие в конкурс за избор на академици на БАН  
в научно направление **Физически науки**

**чл. кор. проф. дфзн Николай Витанов Витанов**

Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“, бул. „Джеймз Баучър“ 5, 1164 София  
vitanov@phys.uni-sofia.bg, +359-2-8161652, +359-879-805107

Чл. кор. Николай В. Витанов е български физик-теоретик с постижения в областта на квантовата оптика, квантовия контрол и квантовата информатика, както и някои свързани области от физиката на кондензираната материя и класическата физика. Редица от теоретичните предложения на кандидата са демонстрирани успешно от водещи експериментални групи от цял свят, някои от които в директно сътрудничество с него и неговата група.

За своите научни постижения той е **получил две индивидуални награди „Питагор“** на МОН: за ръководство на докторанти през 2009 г. и за природни науки през 2012 г.

## 1. НАУЧНА ДЕЙНОСТ

Чл. кор. Н.В. Витанов участва в конкурса с **226 научни статии** в международни списания с импакт фактор (от които 45 след 2016 г.) с **общ импакт фактор 715**, 1 патент в САЩ, както и 6 статии в списания без импакт фактор, вкл. 1 статия в *Reviews of Modern Physics* (IF=45), 13 статии във *Physical Review Letters* (IF=8.4), 121 във *Physical Review A* (там проф. Витанов е в топ-40 на авторите с най-много публикации), 6 във *Physical Review B* и т.н. Статиите му са получили почти **5200 независими цитата** според представения списък (2250 след 2016 г.), като 8 статии са с повече от 100 цитата всяка. **H индексът му е 36**. Има **28 поканени доклади** и над 200 постера на международни конференции, както и над **50 доклада в чужди университети**. Проф. Витанов е един от водещите световни учени в областта на кохерентния контрол на квантови системи и пионер в изследванията в България в тази област. Той е водещ автор на три обзора, цитирани съответно 627, 301, 295 пъти. Първият обзор в списанието *Annual Review of Physical Chemistry* [38] е всред 30-те най-цитирани обзора в това списание. Обзорът в *Reviews of Modern Physics* [187] е “highly cited paper” в *Web of Science*. Обзорите [38, 39] участват в актуалния H-индекс на БАН.

Основните научни приноси на кандидата обхващат трите основни техники за квантов контрол: техники с *пресичане на нивата* (level crossing), техники с последователни, но припокриващи се импулси (*STIRAP*, stimulated Raman adiabatic passage), *композитни импулси* (поредица от импулси с добре дефинирани фази), както и съществени приноси в *квантовата информатика и квантовите технологии*. Проф. Витанов има сериозни научни постижения в още няколко области: квантова динамика на многомерни системи, математична физика, наноструктури, поляризационна и нелинейна оптика.

Характерни за кандидата са широкият спектър от научните му интереси и експерименталната реализация на много от теоретичните му идеи от групи от Европа, САЩ и Япония.

### 1) Адиабатни техники с пресичане на нивата

Пресичането на нивата е добре известен ефект в квантовата физика, използван още от създаването на квантовата механика. В режима на адиабатна еволюция преминаването на пресечната точка на нивата води до пълен пренос на заселеност от едното ниво към другото. Стандартен модел, описващ динамиката на този процес, е моделът на Ландау-Зинер, който предполага линейно пресичане на нивата и константно взаимодействие с безкрайна продължителност. Н.В. Витанов има редица приноси в обобщението на този модел до крайна продължителност [15], нелинейно пресичане [30], Гаусово [58] и експоненциално поле [112], еволюция на кохерентна квантова суперпозиция от състояния [131], некохерентни процеси [19, 55, 80, 130], както и в пресмятането на

времето на прехода [28]. Намерени са интересни интерференчни ефекти при периодично пресичане на нивата [17], напр. динамична забрана на прехода. Важни приноси включват разширението на модела на Ландау-Зинер до три [61, 88] и произволен брой нива [23, 40, 43, 50, 65, 75, 86, 92], приложени за динамиката на атомен лазер [23], създаване на сплетени многочастични състояния [40, 43, 86], ротационно дисоцииране на молекули и създаване на супер-ротори [50], създаване на фононни Фок състояния в йонни капани [92] и др. В съвместни изследвания с учени от Касел в Германия [107, 118] и Вайцмановия институт в Израел [119] са разработени ефикасни схеми за кохерентен контрол с пресичане на нивата в атомите на натрия [107], калия [118] и рубидия [119], всичките *демонстрирани експериментално*. Разработена е техника, обединяваща пресичането на нивата с композитните импулси (виж по-надолу) [128], която осигурява почти нулева грешка при пренос на заселеност; тази техника е *демонстрирана експериментално* съвместно с немски учени в Дармщат [158]. Предложени са потенциално важни приложения на пресичането на нивата в оптични вълноводи [155], смесване на честоти в нелинейни кристали [137] и безжичен пренос на енергия между намотки [124, 141].

Освен тези приноси е предложена нова техника SCRAP (Stark-chirped rapid adiabatic passage) за генериране на пресичащи се нива в система с две нива чрез прилагане на интензивен нерезонансен импулс, който е отместен спрямо основния импулс, управляващ прехода, която е *демонстрирана експериментално* в сътрудничество с немски учени [37]. Показано е, че тази техника може да се използва за създаване на кохерентни суперпозиции [42]. Тази техника е разширена до системи с три нива [60], която впоследствие също е *демонстрирана експериментално* от немски учени [Oberst et al., Phys. Rev. A 78, 033409 (2008)]. Предложена е друга техника RIBAP (retro-reflection induced bichromatic adiabatic passage) [47], която симулира пресичане на нивата с отразяване на възбуждащия лазерен сноп; тази техника е *демонстрирана експериментално* от същата група [A.P. Conde et al., Phys. Rev. A 72, 053808 (2005)]. Предложена е още една техника SAP (superadiabatic passage) [46], при която има скрито пресичане на нивата, което се разкрива в адиабатния базис.

Използвайки концепцията за адиабатна еволюция при *непресичане* на нивата, Н.В. Витанов предсказва липсата на разширяване на спектралните линии с нарастване на интензивността на полето при възбуждане с гладки експоненциални импулси, което е *потвърдено експериментално* в сътрудничество с немски учени [41, 44], както и от американски учен [C.W.S. Conover, Phys. Rev. A 84, 063416 (2011)]. Н.В. Витанов предсказва и особено интригуващия и неинтуитивен ефект на стесняване на спектралните линии при възбуждане с Лоренцови импулси [144].

## 2) Техника STIRAP

Техниката STIRAP позволява да се прехвърли заселеност в квантова система (атом, йон, молекула) с вероятност близка до 100% от ниво 1 на ниво 3, през междинно ниво 2, но без да се заселва ниво 2 по време на преноса. Понеже нивата 1 и 2 обикновено са основно/метастабилно, а ниво 2 е възбудено, тази техника може да работи при времеви скали, надвишаващи значително времето на живот на ниво 2, което определя голямото практическо значение на тази техника. Техниката STIRAP е изобретена от Проф. Клаас Бергман в Кайзерслаутерн (Германия) през 1990 г. при манипулиране на вибрационни състояния на двуатомни молекули. Към днешна дата тази техника се използва в повече от 40 области на квантовата и класическата физика, отразени в повече от 4000 публикации. Кандидатът Н.В. Витанов има редица приноси, много от които в сътрудничество с Клаас Бергман (който е експериментатор), в теоретичното разбиране на тази техника, както и в разширяването ѝ към повече от 3 нива и към други физични системи извън атоми и молекули. Те включват неадиабатни ефекти [16], bright-STIRAP [18], влияние на честотни разстройките [20] и загуби извън системата [22], ниво 2 или ниво 3 замествено с континуум [21, 24, 34, 56, 67, 84] или с много нива [26, 27, 33], влияние на некохерентни процеси (дефазирание и спонтанно излъчване) [56, 63, 121] и квантов шум [117, 123, 168, 169], влияние на израждането на нивата [51, 57], големи асиметрии в интензивностите на полетата [122], генериране на суперпозиции от квантови състояния [31, 48, 66], приложения в квантовата информатика [91] и класическата физика [97, 150], минимизиране на енергията на полето [103] и максимизиране на ефективността [153], както и някои други свойства [32, 111, 122].

Много от теоретичните резултати описани по-горе, вече са *демонстрирани експериментално* в десетки и стотици публикации от групи от цял свят. Само през последните години STIRAP в легирани кристали е демонстриран от японски [H. Goto and K. Ishimura, Phys. Rev. A 74, 053410 (2006)], френски [A.L. Alexander et al., Phys. Rev. B 78, 144407 (2007)] и немски учени [Klein et al., Phys. Rev. Lett. 99, 113003 (2007)]. В йонни капани STIRAP е демонстриран от датски учени [Sorensen et al., New J. Phys. 8, 261 (2006); Moller et al., Phys. Rev. A 76, 062321 (2007)]. Модифицираната версия b-STIRAP е демонстрирана експериментално от немски учени [J. Klein et al., Phys. Rev. A 78, 033416 (2008)]. STIRAP е демонстриран в три оптични вълноводи от израелски учени [Y. Lahini et al., Phys. Rev. Lett. 101, 193901 (2008)] и в повече от три вълновода от френски учени [C. Ciret et al., Phys. Rev. A 87, 013806 (2013)]. Техниката за генериране на кохерентни суперпозиции в статия [66] е демонстрирана експериментално от японски учени [Yamasaki et al., Phys. Rev. A 78, 023808 (2008)]. Това са само част от многобройните експериментални демонстрации на STIRAP и неговите обобщения в литературата.

За отбелязване е и това, че Н.В. Витанов е съорганизатор, заедно с пионерите в STIRAP Клаас Бергман и Брус Шор, на голямата международна конференция през 2015 г. в Кайзерслаутерн, която чества 25-годишния юбилей на тази техника, <http://stirap.quantum-bg.org>. Той е съавтор с тези и други учени на три високо цитирано обзора за многобройните аспекти и приложения на тази техника [38, 39, 187].

### **3) Композитни импулси**

През последните години (след 2010 г.) Н.В. Витанов, заедно с групата си, има важни пионерски приноси в приложението на техниката на композитните импулси (известни от ядрения магнитен резонанс) в квантовата оптика и квантовата информатика. Композитният импулс представлява всъщност последователност от импулси с добре дефинирани относителни фазови разлики между тях. Тези фази се използват като контролни параметри, с които профилът на възбуждане може да се манипулира по произволно желан начин. Така се конструират широколентови (broadband) композитни импулси, които възбуждат ефективно в значително по-широк интервал от стойности на даден параметър в сравнение с единичен импулс (напр. честотна разстройка, интензивност и продължителност на импулса), тяснолентови (narrowband) композитни импулси, които стесняват интервала на възбуждане, както и комбинация от двата вида с правоъгълен профил на възбуждане (passband). Композитните импулси осигуряват много висока ефективност (практически 100%, с произволно малка грешка), което е много важно в квантовата информатика. Приносът на Н.В. Витанов е в разработването на нов метод, използващ SU(2) симетрията на проблема вместо досега използваните интуитивни методи, с който са получени голям брой композитни импулси, със значително по-добри свойства от известните преди това. Резултатите включват нови, по-ефективни широколентови [127, 176, 194, 196, 198, 205, 210, 219], тяснолентови [125, 133, 215] и комбинирани [159, 215] композитни импулси, композитен адиабатен пренос на заселеност (комбинация на адиабатен пренос при пресичане на нивата с композитни импулси) [128, 158], композитен STIRAP [153, 197], Рамзи спектроскопия (реализирана експериментално съвместно с немски учени в Зиген) [169], системи с много нива [132], елиминирани (динамична забрана) на нежелани преходи [151], създаване на сплетени многочастични състояния [149] и квантови гейтове [129, 167, 168, 172, 175, 198] в квантовата информатика, универсални композитни импулси, които компенсират флуктуации в произволни параметри, дори неизвестни такива, реализирани експериментално от немски учени [166, 188]. Композитният адиабатен пренос и универсалните композитни импулси са *демонстрирани експериментално* в сътрудничество с немски учени [158, 197]. Тяснолентовите композитни импулси са *демонстрирани експериментално* от американски учени [Phys. Rev. A 90, 040301 (2014)].

Композитните идеи са приложени в последните години в няколко техники за *разделяне на хирални молекули* [200, 214, 220].

Композитните идеи са приложени в поляризационната и нелинейната оптика, като е предложено конструирането на широколентови композитни вълнови пластини и честотно настойваеми поляризационни филтри [134]. Тези идеи са *демонстрирани експериментално* в сътрудничество с учени от Германия [142] и ИФТТ-БАН [161]. Предложен е широколентов Фарадеев изолатор [156],

който е *демонстриран експериментално* след това в ИФТТ-БАН [157]. Композитните идеи са приложени и в нелинейната оптика, като са предложени композитни кристали за смесване на честоти [163, 164].

#### 4) Многомерни квантови системи

Н.В. Витанов има редица пионерски приноси в изучаването на квантови системи с три и повече нива, прилагайки разнообразни методи, използващи вътрешната симетрия на системата, която позволява редуцирането ѝ до по-прости системи (с две и три нива). Той извежда едно от първите точни решения за динамиката на система с три нива във външно поле [25], което по-късно е приложено за поредица от импулси [136]. Това решение е обобщено до системи с произволен брой състояния в две конфигурации: когато едно състояние взаимодейства с всички останали (т.нар. N-под система) [65] и когато тези състояния са поднива на две изродени нива [49, 82]. В частност, изведено е точното решение на модела на Ландау-Зенер в случая на две изродени нива [75]. Н.В. Витанов открива, че пропагаторът на N-под системата има формата на оператора на Хаусхолдер (квантово отражение) [65, 70], който е широко използван в класическите алгоритми за обработка на информацията. Използвайки този оператор, са предложени физични реализации на произволни унитарни операции  $SU(N)$  на квантови системи с N нива [70, 74, 87]. С помощта на Хаусхолдеровата факторизация за пръв път е конструирана произволна  $SU(3)$  трансформация на атом с три [135] и повече нива [150] и са намерени скрити факторизации на Хилбертовото пространство на такъв атом [89]. Предложен е метод за томография на кохерентна суперпозиция от N състояния [36]. Използваният при тези решения метод на Морис-Шор за редуциране на динамиката на система от две изродени нива до набор от системи с две неизродени нива е обобщен до произволен брой изродени нива [71].

Разработен е нов математичен формализъм, който позволява една квантова система с много нива да се редуцира до ефективна система с по-малко нива чрез адиабатно елиминиране на състояния, дори когато те са близо до резонанс (класическата адиабатна елиминация се прилага за състояния далече от резонанс) [139]; тази публикация е избрана за една от статиите в „Highlights of 2012” на британското списание Journal of Physics B:

<http://iopscience.iop.org/0953-4075/page/Highlights%20of%202012>.

Н.В. Витанов има редица пионерски приноси в прилагането на адиабатни техники към квантови системи с много нива, вкл. системи с пресичане на нивата [23], обобщения на техниката STIRAP [26, 27, 33, 34, 51, 57, 138], композитни импулси [132, 151] и многочастични системи [40, 43]. Една от тези техники [26] е *демонстрирана експериментално* от френски учени [C. Ciret et al., Phys. Rev. A 87, 013806 (2013)].

#### 5) Сплетени състояния и квантови алгоритми

Н.В. Витанов е пионер в изследванията по квантова информатика в България и създател на първата научна школа в тази област, обучавайки 15 успешно защитили докторанти досега, повечето от които в областта на квантовата информатика. Квантовата информатика работи с ансамбли от взаимодействащи си кубити (системи с две нива) и изисква прецизен контрол на състоянието на тези кубити. Това състояние, което обикновено е кохерентна суперпозиция от кубитните състояния 0 и 1, трябва да се създава, манипулира и измерва с много висока прецизност (с допустима грешка  $< 0.01\%$ ).

Постиженията на Н.В. Витанов в тази силно конкурентна област на квантовата физика включват приноси като методи за създаване [31, 57, 68, 76] и измерване [35, 36, 69] на кохерентни суперпозиции от две, три и повече квантови състояния, някои от които са *демонстрирани експериментално* в сътрудничество с немска група [48]. Н.В. Витанов е съавтор в статии, в които за пръв път е предложено използването на адиабатни техники за създаване на сплетени състояния (т.нар. entanglement) на два [40] и повече кубита [43], както и на предложения за създаване на други важни сплетени многочастични състояния: Дике [86, 91], Фок [92], клъстер [93], NooN [140] състояния. Н.В. Витанов е пионер в използването на оператора на Хаусхолдер (квантово отражение)

за ефикасно синтезиране на произволни унитарни операции  $SU(N)$  на квантови системи с  $N$  нива [70, 74, 87]. Показано е, че при определени условия този оператор възниква като пропагатор на квантова система с  $N+1$  нива, едно от които взаимодейства с всички останали [65, 71, 82]. Хаусхолдеровата факторизация позволява, за пръв път, намирането на физична реализация на конструирането на произволна  $SU(3)$  трансформация на атомен кютрит (система с три нива) [135]. Физичната реализация на оператора на Хаусхолдър позволява намирането на оптимизирани реализации на един от основните квантови алгоритми - квантовото търсене на Гровър - в различни бази данни с кубити [94, 96, 115] и кютрити [140]. Друг оригинален принос е откритието, че Хамилтониани с циркулантна симетрия позволяват генерирането на дискретната трансформация на Фурие по естествен начин [105, 213]. Най-накрая, използвайки различни техники от квантовата динамика, са предложени реализации на различни квантови гейтове, превъзхождащи известните преди това по простота, бързина и точност [129, 150, 160, 167, 168].

Заедно с групата си, проф. Витанов има редица приноси и в наскоро възникналата област на **квантово симулиране** на ефекти от физиката на кондензираната материя (фазови преходи, магнетизъм и др.) [109, 165], както и симулирането на ефекти, предсказани от релативистичната квантова механика (спиново разцепване, *zitterbewegung* и др.) [143, 147, 148, 152].

В последните години част от изследванията на чл. кор. Витанов са насочени в една нова област на квантовите технологии – **квантовата метрология и квантовите сензори**. Квантовите сензори позволяват значително повишаване на точността на измерването (до  $10^6$  пъти) на електрични и магнитни полета, както и на гравитацията, с огромен брой потенциални приложения. Постиженията на кандидата включват предложения за нови методи за измерване на статични и осцилиращи електрични и магнитни полета [178, 183, 193, 223], както и нови техники за томография на квантови състояния [35, 36, 69, 211, 217].

За отбелязване е, че предложенията за конструиране на сплетени Дике състояния [86, 91] са *реализирани експериментално*. Методът с пресичане на нивата [86] е демонстриран от групата на *Нобеловия лауреат Дейвид Уайнланд* в САЩ [D. V. Hume et al., Phys. Rev. A **80**, 052302 (2009)], както и от групата на Shinji Urabe в Япония [K. Toyoda et al., Phys. Rev. A **83**, 022315 (2011)]. Групата на Urabe демонстрира и метода, използващ STIRAP [91] [A. Noguchi et al., Phys. Rev. Lett. **109**, 260502 (2012)], както и квантовото симулиране на фазовия преход между изолатор и суперфлуид [109] [K. Toyoda et al., Phys. Rev. Lett. **111**, 160501 (2013)].

Като принос в квантовата информация може да се разглеждат и приносите в техниката на композитните импулси, разгледани отделно по-горе, понеже те осигуряват непостижима с други техники точност на операциите. Адиабатните техники с пресичане на нивата и STIRAP също са широко използвани в квантовата информатика и приносите в тях имат пряко отношение към нея.

## **6) Класическа поляризационна, вълноводна и нелинейна оптика**

През последните 10 години, заедно с бившия си докторант доц. дфзн Андон Рангелов, Н.В. Витанов има редица пионерски приноси в прилагането на методи от квантовата физика в класическата поляризационна, вълноводна и нелинейна оптика въз основа на формалните аналогии между уравненията, описващи съответните ефекти [97, 126]. По аналогия със STIRAP са предложени ахроматични (широколентови) ламбда-пластини [120]. По аналогия с композитните импулси е предложено конструирането на ахроматични (широколентови) композитни вълнови пластини и честотно настойваеми поляризационни филтри [134]. Тези идеи са *демонстрирани експериментално* в сътрудничество с учени от Германия [142] и ИФТТ-БАН [161]. Предложени са две реализации на ахроматичен Фарадеев изолатор [145, 156], едната от които е *демонстрирана експериментално* в ИФТТ-БАН [157]. Предложени са техники за пренос на светлина между вълноводи [155] и мултиканален светлинен делител [138], които вече са *демонстрирани експериментално* в Мец (Франция) [C. Ciret et al., Opt. Lett. **37**, 3789 (2012); C. Ciret et al., Phys. Rev. A **87**, 013806 (2013)]. В нелинейната оптика са предложени техники за смесване на честоти и генериране на хармоники, базирани на аналогии на пресичането на нивата [137] и композитни кристали [163, 164]. Аналогични идеи са използвани в предложения за безжичен пренос на енергия

между две намотки без [124] или посредством [141] друга намотка, които са защитени с патент в САЩ съвместно с израелски учени.

## 7) Нанотехнологии

В сътрудничество с д-р Василис Янопапас от Техническия университет в Атина и д-р Емануел Паспалакис от Университета в Патра, Гърция, са извършени детайлни теоретични изследвания на оптичните свойства на структури от метални и диелектрични наночастици. Тези структури имат значителен потенциал като бъдещи платформи за реализиране на квантовата информатика и квантовите симулации. Развит е числен метод, базиран на флукуационната електродинамика и теорията на множественото разсейване, за пресмятане на локалната плътност на фотонните моди в различни конфигурации от нано- и микрочастици [72]. Пресметната е плътността на състоянията и промяната на вероятността за спонтанна емисия на атом с две състояния сред метални наночастици [77] и сферични разсейватели [79] и е развита теорията на флукуационната електродинамика в присъствието на крайни термични източници [81]. В друга статия е пресметната силата на ван дер Ваалс въз основата на първи принципи (first-principles методи), използвайки теорията на Лифшиц, т.е. без никакви приближения, като са показани значителни отклонения от стандартните теории, особено в случая на близко поле [83]. Предложен е качествено нов метод за създаване на наноуловки за атоми, основан на фокусиращите свойства на метаматериалите с адсорбиран дефект [95, 99]. За пръв път е предложена схема за демонстриране на ефекта на електромагнитно-индуцирана прозрачност в плазмонните вълни на съвкупност от метални наносфери [101]. Бяха изследвани степените на кохерентност и поляризация на термично излъчване от наносфери в близко поле [102]. В друга една работа е изследвано изменението на времето на живот на възбудено атомно състояние близо до решетка от наносфери [104]. С помощта на теорията на множественото разсейване са изследвани големината и знака на силата на Казимир, която се проявява вследствие от вакуумните флукуации на нанометрични разстояния между две наноструктури [106] и между атом и наноструктура [114]. Показано е, че силата на привличане на Казимир между две повърхности може да се неутрализира на нанометрични разстояния чрез отлагането на периодични решетки от наночастици или нанопилони върху повърхностите [110]. Показано е и че може да се осъществи пространствено-времеви контрол на повърхностните екситон-поларитонни възбуждания в полупроводникови наночастици с подходящ избор на чирпа на лазерен импулс [С3]. Най-накрая, демонстрирано е, че с помощта на кохерентно лазерно поле може да се контролира пространственото и времевото разпределение на температурата в наноструктури [146].

## 8) Математична физика

Приносите на кандидата в тази област включват намирането на нови свойства на някои специални функции, както и нови точни и приблизителни решения на уравнението на Шрьодингер. Така например, намерени са нови асимптотични развития на функцията на Бесел от първи род [6] и изродената хипергеометрична функция на Кумер [9]. Намерените нови точни решения на уравнението на Шрьодингер включват модели с поле с асиметрична времева зависимост [8], с фазов скок на полето [78, 85], с линейно нарастващо поле [90] и с поле, изменящо се като хиперболически тангенс [162]. Изведено е точно решение на обобщение на модела на Ландау-Зинер с изродени нива [75] и са намерени следствия от разходимостите в този модел [131]. С помощта на метода на Дихне-Дейвис-Печукас, използващ концепцията за комплексно време, са изведени прецизни приближени решения за нелинейно пресичане на нивата [30] и за Гаусово поле с константна честота [52] и линеен чирп [58].

Н.В. Витанов е пионер в използването на оператора на Хаусхолдер (квантово отражение) за ефикасно синтезиране на произволни унитарни операции  $SU(N)$  на квантови системи с  $N$  нива [70, 74, 87]. Хаусхолдеровата факторизация позволява намирането на физична реализация на конструирането на произволна  $SU(3)$  трансформация на атомен кютрит (система с три нива) [135] посредством свързани квантови огледала [82]. Показано е, че операторът на Хаусхолдер е мощно средство за факторизиране на Хилбертовото пространство [89]. Друг един принос е обобщението на

мощната трансформация на Морис-Шор до повече от две изродени нива [71]. Намерена е и важна връзка между дискретната трансформация на Фурие и Хамилтониани с циркулантна симетрия [76, 105, 213].

Въведена е нова функция на квазиразпределение в квантовата оптика, наречена ambiguity, която е дефинирана като двойната Фурие трансформация на функцията на Вигнер [29]. Подробно за изследвани математичните свойства на тази функция [100, 108]. Изследвана е и нестационарната динамика на квантовите усилватели [59].

## 2. НАУЧНО-ПРИЛОЖНА ДЕЙНОСТ

Една от отличителните черти на кандидата е, че макар че изследванията му имат предимно фундаментален характер, част от тях – в квантовата информатика, в нелинейната оптика и в нанотехнологиите – имат и значителен приложен потенциал. **Квантовата информатика и квантовите технологии** е една от най-бързо развиващи се области от науката и първите устройства за квантова криптография и квантови сензори вече са на пазара. Квантовите компютри, които биха дали огромно ускоряване на изчисленията и, още не са построени (а има само прототипи с до 53 кубита) поради две големи препятствия: операциите изискват много висока прецизност и добро изолиране от околната среда. Изследванията на кандидата, някои от които са потвърдени експериментално в Германия, Япония и САЩ, са пряко свързани с решаването на тези два проблема и затова може да се каже, че те имат сериозен приложен потенциал в средносрочен план. За приложния потенциал на квантовите технологии говори фактът, че най-големите технологични компании в света (Google, Microsoft, Amazon, IBM, Intel, Hewlett-Packard, Siemens, Toshiba и т.н.) разработват квантови компютри и други квантови технологии.

През последните години чл. кор. Витанов, в сътрудничество с бившия си докторант доц. дфзн Андон Рангелов, прилага методи от квантовата физика в класическата **поляризационна, вълноводна и нелинейна оптика** въз основа на формалните аналогии между уравненията, описващи съответните ефекти. Тези аналогии вече са довели до предложения за ултра-ахроматични ламбда-пластини и ултратесни поляризационни филтри, ахроматични оптични изолатори, ефикасни техники за честотно смесване, генериране на хармоники, както и различни ефекти в оптични вълноводи, повечето от които вече са демонстрирани експериментално в Германия, Франция и ИФТТ-БАН. Тези оптични устройства несъмнено имат сериозен приложен потенциал.

Такъв потенциал имат и съвместните изследвания с гръцки учени по **наноструктури**. [72, 77, 79, 81, 83, 95, 99, 101, 102, 104, 106, 110, 114, 146, С3]. Най-накрая, кандидатът има изследвания по **безжичен пренос на енергия** [124, 141], с приложения за безжични зарядни за електронни устройства, довели до съвместен **патент** в САЩ с израелски учени.

## 3. ПОДГОТОВКА НА КАДРИ

Чл. кор. Витанов е дългогодишен преподавател във Физическия факултет на СУ. Чел е много курсове по математични методи на физиката и теоретична физика за бакалаври, както и 5 специални курса за магистри, разработени от него. По един от тях е написал самостоятелен учебник „Квантови преходи“ (на английски). Ръководил е над 25 бакалавърски и магистърски тези.

Проф. Витанов е създател на **първата научна група в България в областта на квантовия контрол, квантовата оптика и квантовата информатика** и вече е създал **утвърдена научна школа** в тези области. Той е ръководил **15 успешно защитили докторанти (13 българи и 2 частично ръководени чужденци)**, 4 от които през последните 5 години. Един от тях – Андон Рангелов – печели наградата „Питагор“ на МОН за най-добър млад учен през 2014 г. Друг от тях – Боян Торосов – печели наградата „Марин Дринов“ на БАН за най-добър млад учен през 2013 г. Трети от тях – Калоян Златанов – печели наградата на **ИФТТ** за най-добро научно постижение за 2020 г. Други трима докторанти имат парични награди от СУ за дисертациите си. В момента той подготвя 2 други докторанти и 2 млади учени. Всички защитили докторанти са имали постдокторантски специализации във водещи университети в света (Оксфорд, Имперския колеж в Лондон, Сейнт Андрюс, Лийдс, Съсекс, Сингапур, MIT, Кайзерслаутерн, Улм, Касел, Майнц, Дармщат, Тулуза,

Дижон, Пиза, Милано и др.). В момента 5 от докторантите му са главни асистенти и доценти във Физическия факултет на СУ, 6 работят в ИФТТ, един е постдокторант в Германия, а двама (които също са работили в ИФТТ) са в бизнеса. 4 от тези докторанти са доценти, а 7 са главни асистенти и асистенти в СУ и ИФТТ, а един от тях е доктор на науките.

За тези свои приноси чл. кор. Витанов е **носител на наградата „Питагор“** на МОН за най-успешен ръководител на докторанти през 2009 г.

#### **4. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННА ДЕЙНОСТ**

Н.В. Витанов е бил **ръководител на катедра „Теоретична физика“** (2009-2010 г. и от 2019 г. досега), през 2011-2015 г. е **заместник-декан на Физическия факултет** на Софийския университет по научната дейност, а от 2015 г. досега е **заместник-ректор на Софийския университет** по научноизследователска и научно-проектна дейност. От 2011 г. е член на Факултетния съвет на Физическия факултет. Бил е член на Академичния съвет на СУ през 2011-2019 г. Инициатор е на годишните награди за наука на Физическия факултет и на възстановяването на Факултетния семинар през 2010 г. Автор е на критериите на Физическия факултет за академично израстване от 2011 г., действали до 2019 г. Бил е член на СНС по радиофизика, физична и квантова електроника на ВАК (2007-2010 г.), както и на Комисията по физика и астрономия на ВАК (2010-2011 г.). Бил е представител на България през 2012-2013 г. в Програмния комитет на Европейския изследователски съвет (ERC), а в момента е член на SEB (Science and Engineering Board) на програмата Flagship on Quantum Technologies на Европейската комисия от 2018 г., представител на България в QCN (Quantum Community Network) на програмата Flagship on Quantum Technologies на Европейската комисия от 2018 г. и представител на България в CERN Quantum Technology Initiative Advisory Board от 2021 г. Член на журито за назначенията на професори и асистенти в Центъра по квантови технологии на Варшавския университет, както и в комисията за оценка на дейността на този център от 2017 г.; член на Бюрото на Съвета по иновации към Българската търговско-промишлена палата от 2017 г.; член на Управителния съвет на Съюза на учените в България от 2019 г.

Н.В. Витанов е ръководил **3 големи проекта от Фонд „Научни изследвания“** на МОН, включващи групи от Физическия и Химическия факултет на СУ, ИФТТ-БАН и ТУ-София. Ръководил е българското участие в **7 големи проекта по Рамковите програми на Европейския съюз** (по програмите Мария Кюри и FET) и в **4 проекта COST**. Ръководил е **голям проект от Структурните фондове** на МОН за подкрепа на докторантите от Физическия факултет.

Н.В. Витанов е **организатор на ежегодната международна конференция CAMEL** в България от 2005 г. досега, на която редовно присъстват и учени от ИФТТ, ИЯИЯЕ и ИЕ на БАН. **Член е на научните комитети и подкомитети на престижните конференции EGAS (2006-2012), CEWQO (2006-201) и CLEO-Europe (2012-2017)**. Н.В. Витанов е рецензент на редица водещи списания във физиката. През 2014 г. е избран за **„Outstanding referee“** на American Physical Society (едва вторият българин, удостоен с тази чест). Рецензирал е научни проекти за чужди научни фондове (Великобритания, Германия, Австрия, Франция, Полша, Чехия, Унгария, Израел) и проекти по Рамковите програми на ЕС. Бил е рецензент на 8 докторски защиты във Франция, Великобритания, Финландия, Австралия и Германия. Бил е член и на много журита за докторски защиты и академично израстване във Физическия факултет на СУ и институтите на БАН. Член е на Editorial Board на списанието Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics на британския Institute of Physics от 2015, като е секционен редактор за Атомна физика от 2020; член на Редакционната колегия на списание Светът на физиката от 2018 г. и списание Обучение по природни науки и върхови технологии от 2020 г.