



## Информация за изпълнение на етап на проект

<b>Наименование на конкурса:</b>
Конкурс за финансиране на научни изследвания – 2017 г.
<b>Основна научна област:</b>
Физически науки/Теоретична и Математическа Физика
<b>№ на договор:</b>
ДН 18/1
<b>Начална и крайна дата на проекта:</b>
10.12.2017 – 10.12.2020
<b>Заглавие на проекта:</b>
Симетрии на фундаменталните закони на Природата
<b>Базова организация:</b>
Институт за Ядрени Изследвания и Ядрена Енергетика (ИЯИЯЕ), Българска Академия на Науките (БАН)
<b>Партньорски организации:</b>
Физически Факултет , Софийски Университет „Св. Климент Охридски“
<b>Ръководител на научния колектив (академична длъжност, научна степен, име):</b>
Чл.-кор. на БАН, проф., дфн НИСИМОВ Емил Рафаелов
<b>Общ размер на отпуснатото финансиране за първи етап:</b>
60 000 лв
<b>Интернет страница на проекта (ако има такава):</b>
<a href="http://theo2.inrne.bas.bg/elpart/DN_18-1_index.html">http://theo2.inrne.bas.bg/elpart/DN_18-1_index.html</a>
<b>Научни публикации по проекта:</b>
1. I. Kostov, V.B. Petkova, D. Serban, „Determinant formula for the octagon form factor in $N = 4$ SYM“, Phys.Rev.Lett. 122, 231601 (2019) , IF 8.8, Q1, <a href="https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.231601">https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.231601</a>
2. I. Kostov, V.B. Petkova, D. Serban, “The octagon as a determinant”, arXiv:1905.11467 . <a href="https://arxiv.org/abs/1905.11467">https://arxiv.org/abs/1905.11467</a>
3. P. Furlan and V.B. Petkova, “ On some Coulomb gas integrals in higher dimensions”, arXiv:1806.03270, <a href="https://arxiv.org/abs/1806.03270">https://arxiv.org/abs/1806.03270</a>
4. V.K. Dobrev, “Multiparameter Quantum Group and Quantum Minkowski Space-Time”, Physics of Particles and Nuclei, <b>49</b> , No. 5, (2018) 818–822. ISSN 1063-7796, IF=0.786, Q4. <a href="https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063779618050180">https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063779618050180</a>
5. V.K. Dobrev, “Representations of Multiparameter Quantum Groups”, Physics of Atomic Nuclei, <b>81</b> , No. 6, (2018) 826–831. %792–797. ISSN 1063-7788, IF=0.524, Q4. <a href="https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063778818060121">https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063778818060121</a>



6. V.K. Dobrev, "Multiplet Classification of Reducible Verma Modules over the $SO(2,1)$ Algebra", J. Phys.: Conf. Ser. <b>1194</b> (2019) 012027. ISSN 17426588, SJR=0.22, Q3. <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1194/1/012027/meta">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1194/1/012027/meta</a>
7. V.K. Dobrev, A. Marrani, "Jordan Algebraic Interpretation of Maximal Parabolic Subalgebras : Exceptional Lie Algebras", arXiv:1905.00289 [math.RT]. <a href="https://arxiv.org/abs/1905.00289">https://arxiv.org/abs/1905.00289</a>
8. E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Wheeler-DeWitt Quantization of Gravity Models of Unified Dark Energy and Dark Matter", Springer Proceedings in Mathematics and Statistics v.255: Quantum Theory and Symmetries with Lie Theory and Its Applications in Physics, vol.2, ed. V. Dobrev, pp.99-114 (Springer, Tokyo, Heidelberg) 2018, SJR 0.161, <a href="https://doi.org/10.1007/978-981-13-2179-5_7">https://doi.org/10.1007/978-981-13-2179-5_7</a>
9. E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Quintessence, Unified Dark Energy and Dark Matter, and Confinement/Deconfinement Mechanism", "Ninth Mathematical Physics Meeting", pp.237-252, B. Dragovic et.al. eds., ISBN: 978-86-82441-48-9, (Belgrade Inst. Phys. Press, 2018), <a href="http://arxiv.org/abs/1801.09120">http://arxiv.org/abs/1801.09120</a>
10. E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Confinement/Deconfinement and Gravity-Assisted Emergent Higgs Mechanism in Quintessential Cosmological Model", "Jacob Bekenstein Memorial Volume" (World Scientific, 2019), <a href="http://arxiv.org/abs/1804.07925">http://arxiv.org/abs/1804.07925</a> , <a href="https://doi.org/10.1142/11373">https://doi.org/10.1142/11373</a> ,
11. E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Modified Gravity and Inflation Assisted Dynamical Generation of Charge Confinement and Electroweak Symmetry Breaking in Cosmology", AIP Conference Proceedings 2075, 090030 (2019), <a href="https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5091244">https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5091244</a> , SJR 0.18
12. E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Gauss-Bonnet Gravity in D=4 Without Gauss-Bonnet Coupling to Matter - Cosmological Implications", Modern Physics Letters A34 (2019) 1950051, Q2, <a href="https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0217732319500512">https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0217732319500512</a>
13. E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Four-Dimensional Gauss-Bonnet Gravity Without Gauss-Bonnet Coupling to Matter – Spherically Symmetric Solutions, Domain Walls and Spacetime Singularities", in Proceedings of 2018 Bahamas Advanced Study Institute's Conference (BASIC 2018), Bulgarian Journal of Physics 46 (2019) #3, <a href="https://arxiv.org/abs/1811.04487">https://arxiv.org/abs/1811.04487</a>
14. D. Benisty, E.I. Guendelman, A. Kaganovich, E. Nissimov and S. Pacheva, "Modified Gravity Theories Based on the Non-Canonical Volume-Form Formalism", to appear in the Proceedings of Internat. Workshop "Lie Theory and Its Applications in Physics XIII", Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, SJR 0.161, <a href="https://arxiv.org/abs/1905.09933">https://arxiv.org/abs/1905.09933</a>
15. D. Benisty, E.I. Guendelman, E. Nissimov and S. Pacheva, "Dynamically Generated Inflation from Non-Riemannian Volume Forms", Submitted to European Physical Journal C, Q1, <a href="https://arxiv.org/abs/1906.nnnnn">https://arxiv.org/abs/1906.nnnnn</a>
16. N.I. Stoilova and J. Van der Jeugt, The $SO(2m+1 2n)$ -graded Lie superalgebra $psl(2m+1 2n)$ and new parastatistics representations, J. Phys. A: Math. Theor. <b>51</b> , (2018) 135201 (17pp) (2018): <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1751-8121/aaae9a">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1751-8121/aaae9a</a> , IF=1.963, Q1
17. N.I. Stoilova, J. Thierry-Mieg and J. Van der Jeugt, On characters and superdimensions of some infinite-dimensional irreducible representations of $OSP(m n)$ , Phys. Atom. Nucl. <b>81</b> , № 6, (2018) 905-910: <a href="https://link.springer.com/article/10.1134/S1063778818060285">https://link.springer.com/article/10.1134/S1063778818060285</a> , IF= 0.524, Q4
18. N.I. Stoilova, J. Thierry-Mieg and J. Van der Jeugt, On superdimensions of some infinite-dimensional irreducible representations of $osp(m n)$ , Springer Proceedings in Mathematics and Statistics <b>263</b> (2018), 165-176: ISBN 978-981-13-2714-8; <a href="https://www.springer.com/gp/book/9789811327148">https://www.springer.com/gp/book/9789811327148</a>
19. N.I. Stoilova and J. Van der Jeugt, Clebsch-Gordan Coefficients for Covariant Representations of the Lie Superalgebra $gl(m n)$ in Odd Gelfand-Zetlin Basis, AIP Conference Proceedings <b>2075</b> , (2019) 090022: <a href="https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5091236">https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5091236</a> , SJR 0.18. <a href="https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=26916&amp;tip=sid&amp;clean=0">https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=26916&amp;tip=sid&amp;clean=0</a> .



20. N.I. Stoilova and J. Van der Jeugt, Parabosons, parafermions and representations of $Z_2 \times Z_2$ -graded Lie superalgebras, J. Phys.: Conf. Ser. <b>1194</b> , (2019) 012102 (9pp): <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1194/1/012102">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1194/1/012102</a> , ISSN 17426588, SJR 0.22: <a href="https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=130053&amp;tip=sid&amp;clean=0">https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=130053&amp;tip=sid&amp;clean=0</a> .
21. R. C. Rashkov, “Integrable structures in low-dimensional holography and cosmologies”, Int. J. Mod. Phys. A 34, 1845008 (2018), <b>Q2</b> ; <a href="https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0217751X18450082">https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0217751X18450082</a>
22. H. Dimov, M. Radomirov, R. C. Rashkov and T. Vetsov, “On Pulsating Strings in Schroedinger Backgrounds”, Arxiv: 1903.07444 [hep-th]; <a href="https://arxiv.org/abs/1903.07444">https://arxiv.org/abs/1903.07444</a>
23. R. C. Rashkov, “On some (integrable) structures in low-dimensional holography”, ArXiv:1905.07190, <a href="https://arxiv.org/abs/1905.07190">https://arxiv.org/abs/1905.07190</a>
24. Veselin G. Filev, R. C. Rashkov, “Critical point in a holographic defect field theory”, Arxiv: 1905.06472 ; <a href="https://arxiv.org/abs/1905.06472">https://arxiv.org/abs/1905.06472</a>
25. H. Dimov, S. Mladenov, R. Rashkov and T. Vetsov, “Higher-Derivative Oscillators in AdS $5 \times S^5$ T-Dual Penrose Limits” ,”Quantum Theory and Symmetries with Lie Theory and Its Applications in Physics Volume 1, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 263, V. Dobrev (ed.), Springer (2018), SJR 0.161, <a href="https://doi.org/10.1007/978-981-13-2715-5_22">https://doi.org/10.1007/978-981-13-2715-5_22</a>
26. H. Dimov, S. Mladenov, R. Rashkov and T. Vetsov, “Information Geometry of Strings on Plane Wave Background” ,”Quantum Theory and Symmetries with Lie Theory and Its Applications in Physics Volume 2, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 255, V. Dobrev (ed.), Springer (2018), SJR 0.161, <a href="https://doi.org/10.1007/978-981-13-2179-5_15">https://doi.org/10.1007/978-981-13-2179-5_15</a>
27. D. Staicova, M. Stoilov “Cosmological solutions from models with unified dark energy and dark matter and with inflaton field“ , Springer Proceedings in Mathematics and Statistics v.255: Quantum Theory and Symmetries with Lie Theory and Its Applications in Physics, vol.2, ed. V. Dobrev, pp.251-260 (Springer, Tokyo, Heidelberg) 2018, SJR 0.161, DOI: 10.1007/978-981-13-2179-5_19 , <a href="https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-2179-5_19">https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-2179-5_19</a>
28. D. Staicova, M. Stoilov “Cosmological solutions from multi-measure model with inflaton field”, ArXiv:1806.08199, <a href="https://arxiv.org/abs/1806.08199">https://arxiv.org/abs/1806.08199</a>
29. D. Staicova „The multi-measure cosmological model and its peculiar effective potential“, AIP Conference Proceedings 2075, 100003 (2019), SJR 0.18, <a href="https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5091247">https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5091247</a>
30. I.T. Todorov, “The Lure of Conformal Symmetry”, Bulg. J. Phys. 46, 117-133 (2019), <a href="https://www.bjp-bg.com/paper.php?id=1177">https://www.bjp-bg.com/paper.php?id=1177</a>
31. H. Dimov, R. C. Rashkov and T. Vetsov, “Thermodynamic Information Geometry and Complexity Growth of Warped AdS Black Hole and the WAdS3/CFT2 Correspondence” - accepted in Physical Review D, <b>Q1</b> , Arxiv:1902.02433 , <a href="https://arxiv.org/abs/1902.02433">https://arxiv.org/abs/1902.02433</a>



**Описание на очакваните резултати по проекта (до 1 стр. в рамките на полето по-долу):**

Симетрията във физиката означава принцип на инвариантност. Принципите на симетрията играят фундаментална роля по отношение на законите на природата. Те са квинтесенция на същността на законите, независимо от спецификата на динамиката. Така принципите на инвариантност осигуряват структура и съгласуваност на законите на природата. Всички взаимодействия между основните градивни елементи във Вселената се управляват от четири фундаментални сили: силни и слаби ядрени сили на ниво елементарни частици и атомни ядра, гравитация на астрофизични и космологични мащаби (произход, структура и еволюция на Вселената) и електромагнетизмът на всички междинни мащаби. Най-основното обединяващо свойство на всички фундаментални сили е принципът на калибровъчна инвариантност, който е възплъщение на мощната синергична симбиоза на съвременната теоретична физика с най-модерните клонове на чистата и приложна математика, особено теорията на групите.

Гравитацията претендира за централна роля във физиката. По същество всички предизвикателства в астрофизиката, космологията и фундаменталната физика включват гравитацията като основен компонент, което я прави обект на съществена интердисциплинарност. От друга страна, (некомутативната) геометрия е в сърцевината на квантовата физика, и нейните многообразни аспекти и развития оказват всеобхватно влияние както върху физиката, така и върху математиката. По-специално, (некомутативната) геометрия е тясно свързана с квантовата теория на гравитацията и предлага една възможна единна гледна точка за същността на основните сили на природата.

Синтезът на резултатите от всеобхватните изследвания в съвременните теории за гравитацията и космологията, разширявайки и обобщавайки далеч класическата обща теория относителността на Айнщайн, както и напредъкът в съвременната фундаментална математика, предлагат вълнуващи възможности и научни перспективи, които да отговорят на някои от най-належащи проблеми в разбирането ни за космоса и законите на природата:

(i) придобиване на нови знания за структурата и поведението на материята на ултра-микроскопични и галактически разстояния;

(ii) принос за решаването на най-предизвикателните "мистерии" и кардиналните проблеми на съвременната физика с глобално концептуално значение - "суперсиметрия", "допълнителни пространствено-времеви измерения", черни дупки и пространствено-времеви портали ("wormholes"), „тъмна материя“ и „тъмна енергия“ във Вселената.

Проектът е интердисциплинарен (теоретична физика и съвременна математика) и е тематично свързан с редица престижни международни проекти, вкл. няколко от тях с европейско финансиране (проекти по COST). Проектът включва млади специалисти и има за цел да допринесе за подготовката на висококвалифицирани специалисти за професионална реализация в такива важни иновативни области на науката като изследвания на гравитационните вълни и нововъзникващата радикално нова научна област - гравитационна астрономия.

Работната програма е основана на три работни пакета:

- (1) Разширени гравитационни теории и квантова космология;
- (2) Теория на струните и гравитационно –калибровъчно-полева дуалност;
- (3) Математически аспекти на фундаменталните симетрии - групови теоретични, алгебрични и геометрични подходи към квантова теория на полето и квантово-механични аспекти на обобщените гравитационни теории.



## Членове на научния колектив

<i>Организации/участници<sup>1</sup></i>	<i>Бележка<sup>2</sup></i>
<b>Базова организация:</b>	
ИЯИЯЕ, БАН	
<b>Ръководител на научния колектив</b>	
1.чл.-кор. на БАН, проф., дфн НИСИМОВ Емил Рафелов	
<b>Участници:</b>	
2. чл.-кор. на БАН, проф., дфн ПЕТКОВА Валентика Борисова 3. проф., дфн ДОБРЕВ Владимир Кръстев 4. проф., дфн ПАЧЕВА Светлана Йорданова 5. доц. дфн СТОИЛОВА Недялка Илиева 6. гл. ас., д-р СТАЙКОВА Деница Руменова 7. МАРИНОВ Калин Каменов	ПД ДО
<b>Партньорска организация:</b>	
Физически Факултет , Софийски Университет „Св. Климент Охридски“	
<b>Участници:</b>	
8. проф., дфн РАШКОВ Радослав Христов 9. МЛАДЕНОВ Стефан Будьониев	ДО
<b>Партньорска организация:</b>	
<b>Участници:</b>	
<b>Партньорска организация:</b>	
<b>Участници:</b>	

<sup>1</sup> Отбележете академичната длъжност, научната степен, име и фамилия на всеки участник като включите и участниците, които са работили по проекта не през целия период за изпълнение на проекта

<sup>2</sup> Отбележете дали участникът в колектива е млад учен (МУ), постдокторант (ПД), докторанти (ДО) или студенти (СТ), или учен от чужбина (УЧ).



**Постигнати резултати от изпълнението на проекта и кратък анализ на тяхната приложимост (до 1 стр. в рамките на полето по-долу)**

Основните резултати по отделните работни пакети са както следва:

**(1) Разширени гравитационни теории и квантова космология.** Построени са нови модели на единно самосъгласувано описание на еволюцията както на „ранната“, така и на „късната“ (днешната) Вселена, със значителни предимства пред досега съществуващите в световната литература. Нашите модели предлагат нови механизми на „гравитационно-подтикнато“ динамично пораждаване на спонтанното нарушение на калибровъчната симетрия на електрослабите взаимодействия (т.н. ефект на Хиггс), и на „гравитационно-подтикнато“ „удържане“ на кварките в квантовата хромодинамика, от една страна, и от друга страна - обяснение на липсата на тези ефекти в началната фаза на „раждане“ на Вселената след „големия взрив“. Заедно с това нашата теория предлага още: (а) ново единно самосъгласувано описание на основните материални блокове на Вселената - „тъмната енергия“ и „тъмната материя“ като проявление на едно единствено поле на материята; (б) нови алтернативни модели на „раждане“ на Вселената без сингулярности (без „голям взрив“) още на класическо ниво без отчитане на квантови ефекти; (в) проведена е процедура на квантуване по Уилър-Де Вит, където полето-агент на „тъмната материя“ играе роля на космологично време и е показано отсъствието на космологични пространствено-времени сингулярности; (г) изследван е ефектът на топологичния инвариант на Гаус-Боне върху еволюцията на вселената и приносят му към качествено нови точни решения за черни дупки, „wormholes“, и гравитационни доменни стени. Резултатите са принос към дългосрочната програма на международната общност от изследователи в областта на физика на частиците и физика при високи енергии, астрофизика и космология, търсещи отговори на такива важни концептуални научни проблеми като задълбочено разбиране чрез физически реалистични космологични модели на вътрешната единна природа на "тъмната енергия" и "тъмната материя“, разбиране на смисъла на квантовата вълнова функция на Вселената, в частност квантови тунелни преходи в еволюцията на Вселената. Ролята на тези изследвания значително нараства в съвременната нова бурно развиваща се *multimessenger* астрофизика – нов прозорец към Вселената основан на детектирането на гравитационните вълни.

**(2) Теория на струните и гравитационно –калибровъчнополева дуалност.**

Холографската дуалност между калибровъчните теории и теория на струните се базира на идеята, че явленията в пространство-времето са като холограма на едно обемашо пространство с повече измерения. Серия резултати в това направление са: намерена е ентропията на сплитане в двумерие по проективни инварианти и представяне чрез тау-функции на бездисперсионна йерархия на Тода; нови представяния на висши проективни инварианти и тяхната връзка с холографски характеристики; предложен е механизъм за деформации за теории с висши спинове на класическо и квантово ниво; предложено е двумерно обобщение на модела на Сахдев-Ие-Китаев за висши спинове; развит е метод на квантови информационни пространства за холографски системи; в нерелативисткият сектор сме намерили решения за пулсиращи струни в такива пространства на Шрьодингер и поправките към енергията на струните задаващи аномалните размерности в нерелативистката квантово-полева теория.

**(3) Математически аспекти на фундаменталните симетрии.** Физиката при високи енергии води до непертурбативни ефекти на малки разстояния, на дължини на Планк. В тези режими е естествено да се предположи, че пространство-времето на Минковски става некомутативно. Един естествен математически апарат за описание на тази некомутативност е чрез разглеждане на квантово-групови деформации на пространство-времето на Минковски. Нов резултат тук е квантова деформация зависеща от повече от един параметър. Следващата стъпка е разглеждане на представянията на многопараметричната квантова група. Друг резултат е свързан с дългогодишна програма за описание на диференциални уравнения, които са инвариантни по отношения на някаква алгебра на Ли. Тук за пръв е разгледана изключителната алгебра  $G_2$ . Трети резултат е съвместна работа с италиански учен. Тук е използвано експертиза на Добрев по параболични алгебри и експертизата на италианския учен по Жорданови алгебри. Направено е подробно описание на параболичните алгебри на изключителните алгебри в термини на Жорданови алгебри