

Новые методы в классической и квантовой теории поля с расширенной суперсимметрией

Евгений Алексеевич Иванов (ЛТФ ОИЯИ),

Иосиф Львович Бухбиндер (Томский Государственный педагогический университет, ЛТФ ОИЯИ),

Борис Сергеевич Мерзликин (Томский Государственный педагогический университет),

Константин Викторович Степаньянц (Кафедра теоретической физики, Московский Государственный университет).

Работа доложена на семинаре Отдела математической физики
ЛТФ ОИЯИ 20 октября 2022 г.

Аннотация

Цикл актуальных исследований, выполненных за последние шесть лет, направлен на развитие явно ковариантных и явно суперсимметричных методов построения эффективных действий калибровочных теорий поля с расширенной суперсимметрией в различных размерностях. В основе исследований лежит универсальный подход гармонического суперпространства, ранее предложенный в ЛТФ ОИЯИ. Общая мотивация и цели вошедших в цикл работ связаны с изучением низкоэнергетических следствий теории суперструн методами суперсимметричной теории поля.

Основные результаты исследований

- Развита метод суперполевой реализации скрытых суперсимметрий в $\mathcal{N} = 4, 4D$ и $\mathcal{N} = 2, 5D$ суперсимметричных теориях Янга-Миллса, сформулированных в терминах гармонических суперполей. Показано, что этот метод позволяет единым образом воспроизвести все известные суперполевые инварианты, отвечающие таким теориям, и построить новые суперинварианты.
- Предложена новая би-гармоническая суперполевая формулировка $\mathcal{N} = 4, 4D$ суперсимметричной теории Янга-Миллса и на ее основе развит подход к построению $\mathcal{N} = 4$ суперсимметричных эффективных действий.
- Разработан гармонический суперполевой подход к $\mathcal{N} = 2, 4D$ суперсимметричной теории калибровочных полей высших спинов. Построены явно $\mathcal{N} = 2$ суперсимметричные свободное действие калибровочных суперполей высших спинов и кубичная вершина взаимодействия таких суперполей с гипермультиплетом.
- Разработан метод исследования квантового эффективного действия в $\mathcal{N} = (1, 0), 6D$ и $\mathcal{N} = (1, 1), 6D$ суперсимметричных калибровочных теориях. Развита суперполевая метод фонового поля, обеспечивающий явную калибровочную инвариантность и явную $\mathcal{N} = (1, 0)$ суперсимметрию при вычислении эффективного действия.

- Развита метод изучения структуры однопетлевых и двухпетлевых расходимостей в рассматриваемых шестимерных теориях. Показано, что хотя все такие теории непрерывно нормируемы по индексу, $\mathcal{N} = (1, 1)$ теория может быть полностью конечной в однопетлевом приближении.
- Развита суперполевой метод собственного времени для явно суперсимметричного и калибровочно инвариантного вычисления однопетлевого эффективного действия в $\mathcal{N} = 2, 5D$ и $\mathcal{N} = (1, 0), 6D$ суперкалибровочных теориях.
- Найдено однопетлевое $\mathcal{N} = (1, 1), 6D$ суперсимметричное низкоэнергетическое эффективное действие (обобщение эффективного действия Гейзенберга-Эйлера для постоянного электромагнитного поля), зависящее от всех полей $\mathcal{N} = (1, 1), 6D$ супермультиплета.

Публикации по результатам исследований

1. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
One-loop divergences in the $6D, \mathcal{N} = (1, 0)$ Abelian gauge theory,
Physics Letters, Vol. B763, pp. 375 - 381, 2016.
2. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
One-loop divergences in the $6D, \mathcal{N} = (1, 0)$ and $\mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theory,
Journal of High Energy Physics, 01 (2017), 128, 18 pages.
3. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
Supergraph analysis of the one-loop divergences in $6D, \mathcal{N} = (1, 0)$ and $\mathcal{N} = (1, 1)$ gauge theories,
Nuclear Physics, Vol. B 921, No 1, pp. 127 - 158, 2017.
4. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
On the two-loop divergences of the 2-point hypermultiplet supergraphs for $6D, \mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theory,
Physics Letters, Vol. B.778, No 1, pp. 252 - 255, 2018.
5. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin,
Leading low-energy effective action in $6D, \mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theory,
Journal of High Energy Physics, 09 (2018) 039, 14 pages.
6. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
Gauge dependence of the one-loop divergences in $6D, \mathcal{N} = (1, 0)$ Abelian theory,
Nuclear Physics, Vol. B936, pp. 638 - 660, 2018.

7. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, I.B. Samsonov,
Low-energy effective action in $5D, \mathcal{N} = 2$ supersymmetric gauge theory,
Nuclear Physics, Vol. B940, No 1, pp. 54 - 62, 2019.
8. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
On gauge dependence of the one-loop divergences in $6D, \mathcal{N} = (1, 0)$ and $\mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theories,
Physics Letters, Vol. B798, No 10 (2019) 134957, 6 pages.
9. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin,
Quantum calculation of the low-energy effective action in $5D, \mathcal{N} = 2$ SYM theory,
Physics Letters Vol. B802 (2020) 135218, 7 pages.
10. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin,
Low-energy $6D, \mathcal{N} = (1, 1)$ SYM effective action beyond the leading approximation,
Nuclear Physics, Vol. B 954 (2020) 114995, 16 pages.
11. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, V.A. Ivanovskiy,
Superfield realization of hidden R symmetry in extended supersymmetric gauge theories and its applications,
Journal of High Energy Physics 04 (2020) 124, 23 pages.
12. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov,
Hidden supersymmetry as a key to constructing low energy superfield effective actions,
Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics, Vol. 309 (2020) pp. 57-77.
13. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
Supergraph calculation of one-loop divergences in higher-derivative $6D$ SYM theory,
Journal of High Energy Physics, 08 (2020) 169, 19 pages.
14. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
The renormalization structure of $6D, \mathcal{N} = (1, 0)$ supersymmetric higher-derivative gauge theory,
Nuclear Physics, Vol. B 961 (2020) 115249, 17 pages.
15. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, V.A. Ivanovskiy,
New bi-harmonic superspace formulation of $4D, \mathcal{N} = 4$ SYM theory,
Journal of High Energy Physics, 04 (2021) 010, 40 pages.

16. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
On the two-loop divergences in $6D, \mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theory,
Physics Letters, Vol. B 820 (2021) 136516, 9 pages.
17. S. Buyucli, E. Ivanov,
Higher-dimensional invariants in $6D$ super Yang-Mills theory,
Journal of High Energy Physics, 07 (2021) 190, 29 pages.
18. Ioseph Buchbinder, Evgeny Ivanov, Nikita Zaigraev,
Unconstrained off-shell superfield formulation of $4D, \mathcal{N} = 2$ supersymmetric higher spins,
Journal of High Energy Physics, 12 (2021) 016, 27 pages.
19. I.L. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev,
Off-shell cubic hypermultiplet couplings to $\mathcal{N} = 2$ higher spin gauge superfields,
Journal of High Energy Physics, 05 (2022) 104, 38 pages.
20. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, N.G. Pletnev,
Superfield approach to the construction of effective action in quantum field theory with
extended supersymmetry,
Physics of Particles and Nuclei, Vol. 47, No 3, pp. 291 - 369, 2016.
21. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, I.B. Samsonov,
The low-energy $\mathcal{N} = 4$ SYM effective action in diverse harmonic superspaces,
Physics of Particles and Nuclei, Vol. 48, No 3, pp. 333 - 388, 2017.
22. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz,
Harmonic Superspace Approach to the Effective Action in Six-Dimensional Supersymmetric
Gauge Theories,
Symmetry, Vol. 11, No 1, pp. 1 - 29, 2019.

Доклады на конференциях по результатам исследований

1. E. Ivanov, Superfield counterterms in $6D, \mathcal{N}=(1,1)$ SYM theory from hidden $\mathcal{N}=(0,1)$ supersymmetry, Ginzburg Centennial Conference on Physics, Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia, May 31 – June 3, 2017.
2. E. Ivanov, Classical and quantum superfield invariants in $6D, \mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theory, XXV International Conference on Integrable Systems and Quantum symmetries, Prague, Czech Republic, June 06 - 11, 2017.

3. E. Ivanov, Implications of hidden $\mathcal{N} = (0, 1)$ supersymmetry in $6D, \mathcal{N} = (1, 1)$ SYM theory, X International Symposium “Quantum Theory and Symmetries” and XII International Workshop “Lie Theory and Its Applications in Physics”, 19 - 25 June 2017, Varna, Bulgaria.
4. E. Ivanov, Higher-dimensional invariants in 6D SYM theory, Quarks online workshops -2021 “Integrability, Holography, Higher-Spin Gravity and Strings”, Dedicated to A.D. Sakharov’s centennial, Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia, May 29 – June 4, 2021.
5. E. Ivanov, $\mathcal{N} = 2$ supersymmetric higher spins from harmonic superspace, International Conference “Advances in Quantum Field Theory”, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia, October 11 - 14, 2021.
6. E. Ivanov, Higher spins from harmonic superspace, XVIII International Conference on Symmetry Methods in Physics, July 10 - 16, 2022, Yerevan, Armenia.
7. E. Ivanov, Supersymmetric higher spins from harmonic superspace, VII International Conference “Models in Quantum Field Theory” (MQFT-2022), Saint Petersburg State University, October 10 - 14, 2022, Saint Petersburg, Russia.
8. I.L. Buchbinder, One-loop divergences in 6D, $N=(1,0)$ and $N=(1,1)$ SYM theories, Ginzburg Centennial Conference on Physics, Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia, May 31 – June 3, 2017.
9. I.L. Buchbinder, On-loop divergencies in the $N=(1,0)$ and $N=(1,1)$ supersymmetric gauge theories, International Workshop “Supersymmetries and Quantum Symmetries”, Joint Institute for Nuclear Research, Russia, July 31-August 5, 2017.
10. I.L. Buchbinder, On one-loop divergences in six-dimensional supersymmetric gauge theories, 2nd International Conference on Symmetry, Centro De Ciencias De Benasque, Spain, September 01 - 07, 2019.
11. И.Л. Бухбиндер, Низкоэнергетическое эффективное действие в калибровочных теориях с расширенной суперсимметрией, Сессия-конференция секции ядерной физики, Отделения физических наук РАН, Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия, 10-12 марта, 2020.
12. I.L. Buchbinder, Low-energy effective action in the gauge theories with extended supersymmetry, VI International workshop “Cosmology and Quantum Vacuum”, In Honor of Professor Emilio Elizalde’s 70th Birthday, Barcelona, Spain, 5th-8th March 2020
13. I.L. Buchbinder, On a structure of one- and two loop divergences in 6D maximally extended rigid supersymmetric Yang-Mills theory, International conference “Advances in

Quantum Field Theory”, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia, October 11 - 14, 2021.

14. I.L. Buchbinder, Harmonic superspace approach to one- and two-loop divergences in 6D, SYM theories, The International Workshop “Supersymmetries and Quantum Symmetries (SQS’22’), Joint Institute for Nuclear Research, August 8 - 13, 2022, Dubna, Russia.
15. I.L. Buchbinder, Superfield effective action in six-dimensional supergauge theories, VII International Conference “Models in Quantum Field Theory” (MQFT-2022), Saint Petersburg State University, October 10 - 14, 2022, Saint Petersburg, Russia.