

ОТЗЫВ
официального оппонента доктора физико-математических наук
Казакова Дмитрия Игоревича

на диссертацию
Невзорова Романа Борисовича
«Феноменологические аспекты суперсимметричных расширений
Стандартной модели», представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 –
теоретическая физика

Диссертация Невзорова Р.Б. посвящена исследованию возможных расширений Стандартной модели фундаментальных взаимодействий, включая суперсимметричные расширения, введение составных частиц и модели с вырожденным вакуумом.

Актуальность темы диссертации определяется тем, что в диссертации рассмотрены самые «горячие» проблемы современной физики элементарных частиц: поиск новой физики и прежде всего суперсимметрии, исследование хиггсовского сектора и проблема тёмной материи. Эти проблемы находятся в центре внимания как теоретиков, так и экспериментаторов и вызывают большой интерес.

Первая и самая большая глава диссертации посвящена суперсимметричным расширениям Стандартной модели и суперсимметричным теориям Великого объединения. И хотя этой тематике посвящены многочисленные исследования различных авторов, в диссертации проводится здесь своя линия основанная на идее объединения всех взаимодействий на основе единого принципа. Можно придаться к конкретной модели, основанной на группе E_6 , и к конкретному выбору минимальной и расширенной суперсимметричной Стандартной модели, которые рассматривает автор, но в отсутствии каких-либо экспериментальных указаний на физику за пределами Стандартной модели, его стратегия, основанное на скупулёзном изучении следствий предлагаемых моделей и извлечении из них экспериментально проверяемых следствий, представляется вполне обоснованной. В этой главе обобщен огромный материал, предложены два реалистических сценария (А и В)

низкоэнергетической теории, в которых решаются такие острые проблемы СМ, как проблема барионной асимметрии Вселенной и проблема тёмной материи, детально изучены следствия расширения хиггсовского сектора модели и предсказано, как искать нестандартные распады хиггсовских бозонов на Большом адронном коллайдере. Автор умело пользуется имеющимися в публичном доступе компьютерными кодами для вычисления вероятностей рождения и парциальных ширин новых частиц. В этой главе подводятся итог более чем 40 научным публикациям автора по данной тематике.

Вторая глава диссертации посвящена другой актуальной проблеме, возможной составной природе хиггсовского бозона, который появляется в качестве низкоэнергетического предела E_6 теории Великого объединения. Изучаются возможные проявления такой структуры на эксперименте, вычисляются вероятности процессов рождения таких состояний и возможные наблюдаемые следствия. И хотя в настоящий момент такого рода события не наблюдаются, эта, казалось бы экзотическая, возможность привлекает интерес в связи с остро стоящей проблемой иерархий в хиггсовском секторе. Поскольку мы не знаем, на каком пути проблема иерархий будет решена, упускать такую возможность, как альтернативу или дополнение к суперсимметрии было бы опрометчиво.

Наконец, в последней главе диссертации изучается теория с вырожденным вакуумом в связи с другой фундаментальной проблемой, наличием и значением космологической постоянной. Этой важнейшей проблеме, которая пока не нашла своего решения, посвящены порядка 15 статей автора. Здесь, на основе теории с двумя хиггсовскими дублетами, изучается сценарий с двумя вырожденными вакуумами, причем в одном из них за счет спонтанного нарушения симметрии генерируется положительная плотность энергии. Феноменологически приемлемые варианты могут быть получены в различных суперсимметричных моделях, но массы суперпартнёров оказываются слишком велики для прямой экспериментальной проверки.

Таким образом в диссертации подытожены многолетние теоретические исследования и представлены результаты, полученные при **личном участии** автора. Им предложена модель, которая является суперсимметричным

расширением Стандартной модели и теории Великого объединения. В рамках этой теории, объединяющей все известные нам взаимодействия, можно добиться решения ряда важных проблем, стоящих перед физикой высоких энергий. В то же время, модель может быть подвергнута экспериментальной проверке на ускорителях. Эта возможность подробно проанализирована в диссертации.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие: При огромной свободе выбора параметров модели, прежде всего связанных с нарушением суперсимметрии, нарушением группы теории Великого объединения, различных шкал и параметров расширенного хиггсовского сектора, несколько теряется магистральная идея. Иногда не вполне ясно, какие следствия относятся исключительно к конкретной реализации модели, а какие являются общими особенностями объединенной теории. С этим же связан непростой вопрос о том, где проходит та граница (в случае отсутствия новой физики на ускорителях ближайшего времени), когда нужно менять всю концепцию.

Приведенные замечания не умаляют значимости представленной диссертации и ни в коей мере не влияют на результаты и ее общую высокую оценку. Диссертация Невзорова Р.Б. представляет собой законченный научный труд. Основные защищаемые положения диссертации являются **новыми**, их **достоверность** не вызывает сомнений, они докладывались автором на многочисленных ключевых международных конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах.

Основные результаты диссертации, разработанные методы и подходы, актуальны и востребованы в институтах, занимающихся фундаментальными исследованиями в области физики элементарных частиц как в России, так и за рубежом при исследовании физики за пределами Стандартной модели и проектировании новых экспериментов.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а

ее автор, **Невзоров Роман Борисович**, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

Директор Лаборатории теоретической физики
Объединённого института ядерных исследований
доктор физ.-мат. наук

Д.И. Казаков

4 сентября 2019 г.

тел. +7 496 2165495

e-mail: kazakovd@theor.jinr.ru

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова
Объединённый институт ядерных исследований,
141980, г.Дубна, Московской области, ул Жолио-Кюри 3

Подпись Д.И.Казакова заверяю

Учёный секретарь ЛТФ ОИЯИ
Кандидат физ.-мат. наук

А.В.Андреев

4 сентября 2019 г.

Казаков Дмитрий Игоревич,
Доктор физ-мат наук, профессор, член-корреспондент РАН
01.04.02 - теоретическая физика

Публикации

1. Хиггсовский бозон открыт: что дальше?,
Успехи Физических Наук 184 (2014) 9, 1004-101, Phys.Usp. 57 (2014) 9, 930-942,
arXiv:1405.5495 [hep-ph]
2. Divergences in maximal supersymmetric Yang-Mills theories in diverse dimensions,
JHEP 1511 (2015) 059, \ arXiv:1508.05570 [hep-th],
(с Л.В.Борком, М.В.Компанейцем, Д.М.Толкачевым и Д.Е.Власенко)
3. Higgs branching ratios in constrained minimal and next-to-minimal supersymmetry
scenarios surveyed, Phys.Lett. B759 (2016) 141, arXiv:1602.08707 [hep-ph],
(с К.Бескит, В. де Буром и С.Вайандом)
4. Leading and Subleading UV Divergences in Scattering Amplitudes for D=8 N=1 SYM
Theory in All Loops, Phys.Rev. D95 (2017) no.4, 045006, arXiv:1603.05501 [hep-th],
(с Д.Е.Власенко)
5. Summation of all-loop UV Divergences in Maximally Supersymmetric Gauge
Theories, JHEP 1612 (2016) 154, \ arXiv:1610.05549 [hep-th],
(с А.Т.Борлаковым, Д.М.Толкачевым и Д.Е.Власенко)
6. Perspectives of direct detection of supersymmetric dark matter in the MSSM and
NMSSM, Nuovo Cim. C40 (2017) no.5, 191, (с К.Бескит, В. де Буром и С.Вайандом)
7. Perspectives of direct Detection of supersymmetric Dark Matter in the NMSSM,
Phys.Lett. B771 (2017) 611-618, arXiv:1703.01255 [hep-ph],
(с К.Бескит, В. де Буром и С.Вайандом)
8. Ultraviolet divergences in D=8 N=1 supersymmetric Yang-Mills theory,
Theor.Math.Phys. 192 (2017) no.1, 1016-1027, Teor.Mat.Fiz. 192 (2017) no.1, 89-102,
(с Д.Е.Власенко)
9. Can we discover a light singlet-like NMSSM Higgs boson at the LHC? ,
Phys.Lett. B782 (2018) 69-76 , arXiv:1712.02531 [hep-ph], (с К.Бескит, В. де Буром).
10. Structure of UV divergences in maximally supersymmetric gauge theories,
Phys.Rev. D97 (2018) no.12, 125008, arXiv:1712.04348 [hep-th],
(с А.Т.Борлаковым, Д.М.Толкачевым и Д.Е.Власенко)
11. Kinematically Dependent Renormalization, Phys.Lett. B786 (2018) 327-331,
arXiv:1804.08387 [hep-th]
12. High Energy Behavior in Maximally Supersymmetric Gauge Theories in Various

Dimensions, Symmetry 11 (2019) no.1, 104, arXiv:1812.11084 [hep-th],
(с Л.В.Борком, А.Т.Борлаковым, Д.М.Толкачевым и Д.Е.Власенко)

13. Перспективы физики высоких энергий, Успехи Физических Наук 189 (2019)
no.4, 387-401.