

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.01  
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 21.06.2017 № 101

О присуждении Федоруку Сергею Алексеевичу ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Классические и квантовые модели суперсимметричной механики и частиц высших спинов» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 1.03.2017 (протокол № 97) диссертационным советом Д 720.001.01 на базе Объединенного института ядерных исследований, международной межправительственной организации, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6, приказ Рособрнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Федорук Сергей Алексеевич** 1964 года рождения.

В 1991 году соискатель окончил физическо-технический факультет Харьковского государственного университета по специальности «теоретическая ядерная физика». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук защитил по специальности 01.04.02 – теоретическая физика в 2000 году, в диссертационном совете на базе Института монокристаллов НТК «Института монокристаллов» НАН Украины, г. Харьков, Украина. В настоящее время работает в должности старшего научного сотрудника в Объединенном институте ядерных исследований, международной межправительственной организации, г. Дубна. Диссертация выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Объединенного института ядерных исследований,

международной межправительственной организации, г. Дубна.

Официальные оппоненты:

**Белавин Александр Абрамович**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук, сектор квантовой теории поля, главный научный сотрудник;

**Зиновьев Юрий Михайлович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный научный центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий", отдел теоретической физики, главный научный сотрудник;

**Лавров Петр Михайлович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Томский государственный педагогический университет", заведующий кафедрой математического анализа.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), г. Москва, в своем положительном заключении, составленном **Васильевым Михаилом Андреевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Квантовой теории поля отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма Физического института им. П.Н. Лебедева РАН) и подписанном **Колачевским Николаем Николаевичем** (доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, директор Физического института им. П.Н. Лебедева РАН) указала, что *«<...> В диссертации предлагаются и изучаются модели суперсимметричной квантовой механики, включая модели расширенной суперконформной механики, твисторные формулировки спиновых частиц и суперчастиц, а также частиц высших спинов и струн. Важность и актуальность этих исследований связана с фундаментальной ролью моделей суперсимметричной механики и моделей спиновых частиц в современных формулировках суперструнных моделей и M-теории, в анализе*

свойств систем с низкоэнергетичной суперсимметрией, в космологических моделях, в изучении АдС/КфТП соответствия, в построении новых интегрируемых систем. Объединяющим инструментом при исследовании рассматриваемого класса физических систем является использование дополнительных переменных: полудинамических и чисто калибровочных степеней свободы в моделях суперсимметричной механики, гармонических переменных в системах с расширенной суперсимметрией и твисторов в построении новых моделей частиц со спином. Это позволило автору детально развить следующие направления: — Составные системы с полудинамическими степенями свободы. <...> — Обобщенный твисторный подход. <...> Диссертационная работа содержит большой объем материала, изложенного четко и ясно. К наиболее важным результатам следует отнести применение битвисторного подхода к описанию массивных частиц, построение  $N=4$  суперсимметричной модели Калоджеро и развитие моделей частиц высших спинов. Полученные результаты являются оригинальными и хорошо обоснованными. Они вносят существенный вклад в развитие новых подходов к построению и изучению суперсимметричных теорий, активно исследуемых настоящее время. В то же время, следствия из полученных в диссертации результатов для различных частных случаев подтверждаются результатами, полученными другими авторами, свидетельствующие об их достоверности. <...> Автореферат полно отражает содержание диссертации. Материалы диссертации опубликованы в ведущих научных журналах <...> и неоднократно докладывались на международных научных конференциях. Полученные при выполнении диссертации результаты несомненно найдут применение в исследованиях по теоретической физике высоких энергий, квантовой теории поля, суперсимметрии и теорий суперструн в целом ряде научных и образовательных учреждений. <...> Диссертация С.А. Федорука «Классические и квантовые модели суперсимметричной механики и частиц высших спинов» отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор, Федорук Сергей

*Алексеевич, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.»*

Соискатель имеет 51 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 43 работ, из которых 29 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Основные работы:

1. Зима В.Г., Федорук С. «Спиновая (супер)частица с коммутирующим индексным спинором» // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1995. Т. 61, С. 241-246.

2. Fedoruk S., Lukierski J. «Massive relativistic particle models with bosonic counterpart of supersymmetry» // Physics Letters B. 2006. Vol. 632, no. 2-3. P. 371-378.

3. Fedoruk S., Ivanov E. «Master Higher-spin particle» // Classical and Quantum Gravity. 2006. Vol. 23, no. 17. P. 5195-5214.

4. Fedoruk S., Lukierski J. «Purely twistorial string with canonical twistor field quantization» // Physical Review D. 2009. Vol. 79, no. 6. P. 066006(1-6).

5. Fedoruk S., Ivanov E., Lechtenfeld O. «Supersymmetric Calogero models by gauging» // Physical Review D. 2009. Vol. 79, no. 10. P. 105015(1-6).

6. Fedoruk S., Ivanov E., Lukierski J. «Galilean Conformal Mechanics from Nonlinear Realizations» // Physical Review D. 2011. Vol. 83, no. 8. P. 085013(1-12)

7. Fedoruk S., Ivanov E., Lechtenfeld O. «Nahm equations in supersymmetric mechanics» // Journal of High Energy Physics. 2012. Vol. 1206. P. 147(1-33).

8. Fedoruk S., Lukierski J. «New spinorial particle model in tensorial space-time and interacting higher spin fields» // Journal of High Energy Physics. 2013. Vol. 1302. P. 128(1-20).

9. de Azcarraga J., Fedoruk S., Izquierdo J., Lukierski J. «Two-twistor particle models and free massive higher spin fields» // Journal of High Energy Physics. 2015. Vol. 1504. P. 010(1-38).

10. Fedoruk S., Smilga A. «Bi-HKT and bi-Kähler supersymmetric sigma models» // Journal of Mathematical Physics. 2016. Vol. 57. P. 042103(1-24).

Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет

560 печатных страниц. Все работы с результатами диссертации опубликованы в журналах, которые включены в международные системы цитирования Scopus и хорошо известны научному сообществу. Все журналы рецензируемые, опубликованные работы прошли серьезную всестороннюю проверку рецензентами – ведущими специалистами в области теоретической физики и физики высоких энергий.

Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации. В отзыве ведущей организации говорится: *«В качестве замечаний к диссертационной работе С.А. Федорука, отметим, что уделяя подчас слишком большое внимание обсуждению достаточно хорошо известных формальных вопросов, таких как описание твисторов Пенроуза и алгебр одномерной суперсимметрии, в работе не уделяется достаточно внимания возможным физическим приложениям изучаемых моделей. В частности, это относится к приложениям к моделям теории поля со взаимодействием: хотя в работе показано как воспроизводятся свободные уравнения развернутой формулировки безмассовых полей, представляющееся весьма полезным обсуждение связи предполагаемого формализма с нелинейной теорией высших спинов в работе отсутствует. Кроме того отметим, что использование термина «бозонная суперсимметрия» приводит к некоторой путанице – возможно автору следовало бы остановиться на применении понятия «чётный аналог суперсимметрии». Впрочем, вышеперечисленные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации и не снижают ее научной ценности.»* В отзыве А.А. Белавина говорится: *«К сожалению, исключительно большой объем диссертации совместно с заметным количеством опечаток существенно затрудняет восприятие представленного материала. В то же время, представлялось бы разумным при применении в главе 2 гармонического описания различных  $N=4$  супермультиплетов не отсылать читателя к их описанию, сформулированному в предыдущей главе, а привести их тут же, пусть и в краткой форме. Также, признавая эффективность*

подхода с использованием лоренцевых гармоник при анализе  $k$ -симметрии безмассовой суперчастицы, было бы уместным провести сравнительный анализ этого подхода с твисторным, что весьма бы обогатило содержание диссертации. Впрочем, последнее замечание относится скорее к пожеланиям, чем к критическим замечаниям. Приведенные замечания никак не влияют на общую высокую оценку диссертации.». В отзыве Ю.М. Зиновьева говорится: «В этой же главе рассматриваются системы, инвариантные относительно алгебры Максвелла, в которой центральные заряды появляются в коммутаторе для трансляций. <...> Отметим, что связь такой алгебры связана с движением заряженных частиц в постоянном электромагнитном поле известна уже довольно давно, однако попытки ее реализации в теории поля пока заметного успеха не имели. К сожалению в диссертации связь полученных результатов с такими попытками, а также собственные результаты, присутствующие в оригинальных работах, не обсуждаются. <...> Построены новые модели частиц, инвариантные относительно т.н. бозонной суперсимметрии <...> и выполнено ее квантование. <...> В частности, было бы интересно понять, какой развернутой формулировке массивных полей с высшими спинами такая модель соответствует. <...> В этой же главе построены две альтернативные формулировки для бозонной струны, в частности, построено твисторное действие для бозонной струны с натяжением. <...> Было бы интересно увидеть обобщение этих результатов на суперструну.». В отзыве П.М. Лаврова говорится: «Среди замечаний отметим, что при квантовании предлагаемых моделей квантовой механики используется вейлевское упорядочение операторов, которое позволяет сохранить алгебру суперсимметрии на квантовом уровне. Представляется интересным и важным этому эмпирическому факту придать статус теоремы. Одной из мотивировок изучения новых квантово-механических систем с высокой суперсимметрией является их возможная полезность в задачах космологии. В диссертации отсутствует изучение влияния такой суперсимметрии на характер явлений, связанных с движением суперчастиц в поле черных дыр вблизи горизонта событий. Имеется ряд технических замечаний:

*Вещественные суперполя, отвечающие  $N=1$  и  $N=2$  глобальной суперсимметрии, представленные на одной и той же странице 29 диссертации, предполагают разные свойства сопряжения переменных. Указанные замечания не снижают ценности и важности полученных в диссертации результатов.»*

Соискатель ответил на все замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основан на том, что оппоненты являются видными специалистами, как в области теоретической физики, так и в области физики высоких энергий, а ведущая организация – одним из лидирующих научно-исследовательских институтов в области экспериментальной и теоретической физики. Это подтверждается многочисленными публикациями в журналах из списка ВАК, индексируемых в международных базах данных Web of Science и SCOPUS, а также высоким индексом цитируемости их работ.

**Диссертационный совет отмечает,** что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны новые методы для описания безмассовых и массивных частиц и суперчастиц с фиксированным (супер)спином, а также частиц и суперчастиц высших спинов, использующие обобщенный твисторный подход и новые симметрии динамических систем.

Предложен новый подход в описании частиц произвольного спина, основанный на использовании координат коммутирующего вейлевского спинора и формулировать теории как массивных, так и безмассовых спиновых частиц, а также частиц и суперчастиц высших спинов.

Построены новые модели частиц и суперчастиц высших спинов, обладающие четным аналогом суперсимметрии и позволяющие сохранить условие  $N=1$  киральности в суперсимметричном случае.

Предложен подход, использующий составные системы с полудинамическими степенями свободы, для построения новых моделей суперсимметричной квантовой механики, включая системы с расширенной суперконформной симметрией.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

Доказаны теоремы, определяющие структуру суперзарядов суперсимметричных моделей с НКТ и би-НКТ геометриями и теорему об индексе для систем с внешними кручениями в моделях  $N=2$  суперсимметричной механики.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы метод нелинейных реализаций различных групп симметрии, метод гармонических суперпространств и твисторный метод в построении новых моделей спиновых частиц и суперчастиц, а также частиц высших спинов.

Раскрыты методы описания массивных частиц в битвисторной формулировке.

Изучены связи описания частиц высшего спина в развернутой формулировке и в формулировке с четным аналогом суперсимметрии с помощью построения унифицированной модели, воспроизводящей данные формулировки как частичные фиксации калибровок.

**Значение полученных соискателем результатов для практики** заключается в возможности использования полученных результатов и разработанных методов в исследованиях по теоретической физике высоких энергий, квантовой теории поля, суперсимметрии и теории струн, проводимых в ведущих российских и международных научных центрах.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила: для решения поставленных задач в диссертационной работе использованы успешно апробированы методы теоретической и математической физики. Результаты диссертации опубликованы в рецензируемых журналах и прошли апробацию в виде докладов на научных конференциях. Следствия из полученных результатов для различных частных случаев совпадают с результатами, полученными другими авторами.

**Личный вклад** соискателя во всех полученных результатах с соавторами является определяющим как при формулировке задач, рассмотренных в диссертации, так и в определении методов их решения. Все конкретные вычисления проведены автором самостоятельно и независимо.

На заседании № 101 от 21 июня 2017 года диссертационный совет принял



решение присудить Федоруку С.А. ученую степень доктора физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 13 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, не <sup>~</sup> бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета

Воронов Виктор Васильевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Быстрицкий Юрий Михайлович

21.06.2017

