



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Г17

2-90-91

**ГАЛЬПЕРИН**  
Александр Самуилович

УДК 530.145

**РАСШИРЕННАЯ СУПЕРГРАВИТАЦИЯ**

Специальность: 01.04.02 - теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

Дубна 1990

Работа выполнена в Институте ядерной физики АН УзССР (Ташкент) и Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
академик АН УССР

Д.В.Волков

доктор физико-математических наук  
член-корреспондент АН СССР

А.А.Славнов

доктор физико-математических наук  
профессор

С.М.Биленький

Ведущая организация - Физический институт им. П.Н.Лебедева  
АН СССР, Москва.

Защита состоится " " \_\_\_\_\_ 1990 года на заседании специализированного совета Д 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1990 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета Д 047.01.01  
кандидат физико-математических наук

  
В.И.Журавлев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы связана с тем, что в современной физике элементарных частиц и квантовой теории поля суперсимметрия является одной из ведущих концепций. Принцип симметрии между бозонами и фермионами позволил осуществить нетривиальное объединение внутренних и пространственно-временных симметрий. В рамках расширенных супергравитаций - теорий локальной суперсимметрии - впервые удалось представить гравитационное и максвелловские (или янг-миллсовские) поля как разные компоненты единого супермультиплета. Простейшая из них -  $N = 2$  супергравитация - предсказывает, что унификация спинов 2 и 1 требует существования пары частиц со спином  $3/2$ . Суперсимметричные модели квантовой теории поля обнаружили поразительное свойство - сокращение многих ультрафиолетовых расходимостей. Открытие целого класса конечных суперсимметричных моделей сняло давнее "проклятие" с квантовой теории поля, позволив работать со взаимодействующими и в то же время свободными от расходимостей моделями. Наиболее привлекательные черты глобальной и локальной суперсимметрии вошли в теорию суперструн, рассматриваемую сейчас как наиболее вероятный кандидат на роль всеобъемлющей самосогласованной теории всех взаимодействий, включая гравитацию.

В исследовании свойств конечности, доказательстве теорем о неперенормировке, построении наиболее общих, совместных с суперсимметрией взаимодействий и выявлении необычных внутренних геометрий суперсимметричных теорий основополагающую роль играет разработка явно ковариантных формулировок этих теорий вне массовой оболочки с помощью суперполей, свободных от каких-либо сторонних ограничений.

В  $N = 1$  суперсимметрии такой формализм был в основном разработан к началу восьмидесятых годов. Ключевым моментом в построении и понимании  $N = 1$  теорий материи, Янга - Миллса и супергравитации оказалось осознание роли кирального подпространства вещественного суперпространства и сохранение понятия киральности во взаимодействующем случае. Однако для расширенных суперсимметрий ( $N \geq 2$ ) развитие в  $N = 1$  случае методы оказались неадекватными. Например, линейризованные потенциалы  $N = 2$  супергравитации оказались суперполями высоких размерностей с калибровочными инвариантностями негеометрического вида; такую картину практически невозможно обобщить на взаимодействующий случай.

Аналогичные трудности возникают в  $N = 2$  теориях Янга-Миллса и материи. Преодоление этих трудностей стало возможным с появлением в 1984 г. теории гармонического суперпространства, открывшей дорогу для построения и исследования  $N = 2$  супергравитации и ее общих взаимодействий с материей.

Актуальной проблемой является также анализ и решение дифференциальных связей гиперкэлеровой и кватернионной геометрий. Последние, согласно теоремам Альвареца-Гоме и Фридмана, а также Бэггера и Виттена, прямо связаны с геометрией и лагранжианами  $N = 2$  суперсимметричных сигма-моделей в плоском и искривленном суперпространствах. Знание общей структуры таких сигма-моделей важно, например, при компактификации суперструн типа II.

Цель работы состоит в построении и исследовании теории  $N = 2$  супергравитации и ее общих взаимодействий с суперсимметричной материей на основе метода гармонического суперпространства.

Научная новизна. В диссертации решается проблема описания расширенной супергравитации и ее общих взаимодействий с материей на адекватном суперполевым языке гармонического суперпространства. В основе решения лежит введенная в данной диссертации идея о фундаментальной роли гармонического суперпространства с супергруппой преобразований координат, сохраняющих аналитическое подпространство. Впервые найдена полная нелинейная группа и геометрические препотенциалы конформной  $N = 2$  супергравитации. Установлено, что геометрия конформной  $N = 2$  супергравитации есть геометрия реперов гармонической производной  $\mathcal{D}^+$ . Дано исчерпывающее описание конформно-инвариантных действий основных материальных  $N = 2$  мультиплетов. Доказана конформная инвариантность свободного действия для гипермультиплета Файе-Сониуса с бесконечным числом вспомогательных полей.

Впервые найдена фундаментальная  $N = 2$  супергруппа эйнштейновской супергравитации. Для трех ранее известных в компонентах версий построены суперполевые действия. Найдена существенно новая версия  $N = 2$  супергравитации с бесконечным числом вспомогательных полей.

В трех ранее известных версиях  $N = 2$  супергравитации имеются существенные трудности при включении общих взаимодействий с материей. Развитый в диссертации формализм дифференциальной геометрии в гармоническом суперпространстве выявляет причину этого явления, состоящую в отсутствии аналитической плотности для аналитического подпространства. Доказано, что такая плотность имеется только в новой версии  $N = 2$  супергравитации.

Впервые написано действие для  $N = 2$  сигма-моделей в искривленном суперпространстве. Установлено, что для ранее известных версий супергравитации сигма-модели обязательно имеют изометрии, в то время как в новой версии допустимы сигма-модели без изометрий. Показано, что лагранжиан  $N = 2$  сигма-модели в искривленном суперпространстве определен с точностью до "кватернионного" преобразования, которое обобщает кэлерово преобразование в  $N = 1$  сигма-моделях.

Впервые построены минимальные взаимодействия  $N = 2$  полей Янга-Миллса с суперсимметричной материей в плоском и искривленном суперпространствах. Выяснено, что в плоском случае не все изометрии сигма-моделей поддаются локализации. Введено понятие  $N = 2$  потенциала Киллинга.

Установлено, что гармонические методы, развитые в суперсимметрии, в равной мере применимы для интерпретации и решения дифференциальных связей гиперкэлеровой и кватернионной геометрий. На этой основе найдены препотенциалы указанных геометрий и соответствующие им калибровочные группы.

Впервые установлено взаимно-однозначное соответствие между лагранжианами  $N = 2$  сигма-моделей в плоском и искривленном гармоническом суперпространстве с одной стороны и препотенциалами гиперкэлеровой и кватернионной геометрии с другой.

Новым вкладом является реализации  $N = 3$  суперконформной группы в гармоническом суперпространстве и доказательство конформной инвариантности  $N = 3$  теории Янга-Миллса вне массовой оболочки.

Практическая ценность. Развитый в диссертации подход к расширенной супергравитации имеет для последней такое же значение, как общековариантный подход в теории гравитации Эйнштейна или  $N = 1$  суперполевого подход в простой супергравитации. Прежде всего, он открывает дорогу для явно суперсимметричного квантования  $N = 2$  супергравитации. Этот подход уже нашел применение в исследованиях по пяти- и шестимерным супергравитациям и их взаимодействиям с материей. Большие надежды возлагаются на него в задаче об эффективных лагранжианах, возникающих при компактификации суперструн типа II к четырехмерному пространству. Наиболее важных применений следует ожидать в расширенных супергравитациях с  $N > 2$ , а также в суперструнных теориях. Соответствующая им фундаментальная геометрия (пока неизвестная) должна содержать образы и понятия  $N = 2$  супергравитации в качестве частного или предельного случая.

Разработанная в диссертации процедура решения дифференциальных связей гиперкэлеровой и кватернионной геометрий нашла приложение в построении и исследовании двумерных гетеротических  $(4,0)$  сигма-моделей, соответствующих геометрии с кручением. Препотенциальный подход

оказывается здесь незаменимым при доказательстве свойств ультрафиолетовой конечности и установлении структуры аномалий.

Для защиты выдвигаются следующие результаты, полученные в диссертации:

1. Найдена реализация суперконформной группы с константными параметрами в гармоническом  $N = 2$  суперпространстве, сохраняющая понятие аналитичности. Показано, что закон преобразования координат совместен лишь с комбинированным сопряжением. Найдены конформно-инвариантные действия основных  $N = 2$  супермультиплетов.

2. Выяснено, что гармоническое суперпространство позволяет дать новую трактовку законам сохранения улучшенного  $N = 2$  супертока. На этой основе найдены линеаризованные препотенциалы конформной  $N = 2$  супергравитации геометрической размерности.

3. Полная нелинейная группа конформной  $N = 2$  супергравитации отождествлена с супергруппой обскоординатных преобразований в гармоническом суперпространстве, оставляющих инвариантным аналитическое суперпространство, а препотенциалы конформной супергравитации - с аналитическими реперами гармонической производной  $\mathcal{D}^{++}$ .

4. Развита формализм дифференциальной геометрии  $\mathbb{H}^{4+2|8}$  в терминах препотенциалов. Подчеркнута и конструктивно использована идея о "строительных кубиках" - объектах с простыми трансформационными свойствами.

5. Построены суперполевые действия основных материальных и максвелловского мультиплетов на фоне конформной  $N = 2$  супергравитации. Воспроизведены в суперпространстве три ранее известные в компонентах версии эйнштейновской  $N = 2$  гравитации.

6. Открыта новая версия эйнштейновской  $N = 2$  супергравитации с  $q^+$ -гипермультиплетом в качестве компенсатора. Доказано, что только в новой версии существует аналитическая плотность для аналитического суперпространства.

7. Впервые написано действие для  $N = 2$  сигма-моделей в искривленном суперпространстве. Показано, что для трех ранее известных версий  $N = 2$  супергравитации сигма-модели обязательно имеют изометрии, в то время как для  $q^+$ -версии допустимы сигма-модели без изометрий.

8. Показано, что лагранжиан  $N = 2$  сигма-модели в искривленном суперпространстве определен с точностью до "кватернионного" преобразования, обобщающего кэлерово преобразование в  $N = 1$  сигма-моделях.

9. Построены минимальные взаимодействия  $N = 2$  полей Янга-Миллса с  $N = 2$  материей в плоском и искривленном суперпространствах. Выяснено, почему в плоском случае поддаются локализации не все изометрии.

10. С помощью гармоник  $SU(2)/U(1)$  дана интерпретация дифференциальных связей гиперкэлеровой и кватернионной геометрии как условий интегрируемости для существования соответствующих аналитических пространств.

11. На этой основе найдены препотенциалы указанных геометрий и их калибровочные группы.

12. Установлено взаимно-однозначное соответствие между лагранжианами  $N = 2$  сигма-моделей в плоском и искривленном суперпространстве, с одной стороны, и препотенциалами гиперкэлеровой и кватернионной геометрий - с другой.

13. Показано, что подход гармонического суперпространства позволяет строить наиболее общие взаимодействия  $N = 2$  материальных мультиплетов.

14. Найдена реализация  $N = 3$  суперконформной группы в гармоническом суперпространстве и доказана конформная инвариантность  $N = 3$  теории Янга-Миллса вне массовой оболочки. Сформулированы законы сохранения улучшенного  $N = 3$  супертока в аналитическом суперпространстве.

#### Апробация диссертации

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах ЛТФ ОИЯИ, ИЯФ АН УзССР, ФИАН, МИАН, ИТЭФ, ИФП, ХФТИ, ИФФ ТашГУ, на сессиях ОЯФ АН СССР, Всесоюзной конференции "Суперсимметрия-85" (Харьков), а также на многих международных конференциях и симпозиумах, в том числе конференциях по теории поля в Алуште в 1984 г. и 1987 г., семинарах по теоретико-групповым методам в физике в Звенигороде в 1982 г. и в Дрмале в 1985 г., семинарах по квантовой гравитации в Москве в 1984 г. и в 1987 г., конференции по физике высоких энергий в Беркли в 1986 г., школах по теоретической физике в Триесте (Италия) в 1984 г. и в 1986 г.

#### Публикации

По материалам диссертации опубликовано 20 работ.

#### Объем работы

Диссертация состоит из семи глав основного текста с пятью приложениями и заключения. Она содержит 210 страниц машинописного текста, одну таблицу и библиографический список литературы из 127 названий.

#### Содержание работы

В главе I (Введение) дана сжатая характеристика современного состояния суперсимметрии и супергравитации, достигнутых в этой области результатов и ждущих решения проблем, с подчеркиванием тех вопросов, которые обуславливают актуальность диссертации. Кроме того, Введение служит путеводителем по диссертации. После анализа пред-

шестуujących подходов к построению и исследованию расширенной  $N = 2$  супергравитации и ее взаимодействий с материей формулируется программа из шести пунктов для решения этой задачи:

- 1) выбор пространства;
- 2) реализация конформной группы с константными параметрами;
- 3) выбор материального мультиплет (компенсатор) с конформно-инвариантным действием;
- 4) переход к локальной конформной группе и установление соответствующего ей геометрического препотенциала;
- 5) построение конформно-инвариантного действия компенсатора на искривленном фоне;
- 6) построение общих взаимодействий материи.

Программа проиллюстрирована на примерах теории Эйнштейна и  $N = 1$  супергравитации. После такого вступления сделан обзор содержания диссертации - полной реализации намеченной программы для  $N = 2$  супергравитации и некоторых результатов по  $N = 3$ .

Во второй главе делаются первые шаги по намеченной во Введении программе построения  $N = 2$  супергравитации. После краткого знакомства с элементами гармонического суперпространства вводятся основные материальные и калибровочные  $N = 2$  мультиплеты: гипермультиплет Файс-Сониуса, линейный и "нелинейный" мультиплеты, гипермультиплет с центральным зарядом и янг-миллсовский мультиплет, все описываемые аналитическими суперполями. Показано, что  $N = 2$  суперконформную группу  $SU(2,2|2)$  можно реализовать в гармоническом суперпространстве  $M^{4+2|8} = \{ \chi_A^m, \theta^{\alpha+}, \bar{\theta}^{\dot{\alpha}+}, u_i^{\pm}, \theta^{\alpha-}, \bar{\theta}^{\dot{\alpha}-} \}$  таким образом, чтобы она оставляла инвариантным аналитическое суперпространство  $A^{4+2|4} = \{ \chi_A^m, \theta^{\alpha+}, \bar{\theta}^{\dot{\alpha}+}, u_i^{\pm} \}$ , являющееся адекватным для  $N = 2$  суперсимметрии. Установлено, что соответствующие преобразования совместны только с операцией комбинированного сопряжения  $(\tilde{u}_i^{\pm}) = u_i^{\pm}$ ,  $(\tilde{u}^{\pm i}) = -u^{\pm i}$ . Найдены конформно-инвариантные суперполевые действия основных  $N = 2$  мультиплетов.

В третьей главе вводятся препотенциалы и калибровочная группа конформной  $N = 2$  супергравитации. Вначале приводятся простые эвристические соображения об улучшенном  $N = 2$  супертоке как источнике мультиплет конформной  $N = 2$  супергравитации. Объединение этих соображений и знаний о существовании аналитического  $N = 2$  суперпространства позволяет найти линейризованные препотенциалы  $N = 2$  конформной супергравитации, имеющие геометрические размерности, а также линейризованную калибровочную группу.

Полная нелинейная группа конформной  $N = 2$  супергравитации отождествляется со следующей общекоординатной группой

$$\begin{aligned} \delta \bar{z}^M &= \lambda^M(\bar{z}, u) & (\bar{z}^M &= (\chi_A^m, \theta^{\mu+}, \bar{\theta}^{\dot{\mu}+})) \\ \delta u_i^{\pm} &= \lambda^{++}(\bar{z}, u) \cdot u_i^{\pm}, & \delta u_i^{\pm} &= 0 \\ \delta \theta^{\hat{\mu}-} &= \lambda^{\hat{\mu}-}(\bar{z}, u, \theta^-) & (\hat{\mu} &= \mu, \dot{\mu}), \end{aligned} \quad (1)$$

сохраняющей понятие аналитичности (т.е. независимости от  $\theta^-, \bar{\theta}^-$ ). Препотенциалы этой теории отождествляются с реперами гармонической производной  $\mathcal{D}^{++}$ :

$$\begin{aligned} \mathcal{D}^{++} &= u^{+i} \frac{\partial}{\partial u^-i} + H^{(4)}(\bar{z}, u) \cdot u^{-i} \frac{\partial}{\partial u^{+i}} + H^{++m}(\bar{z}, u) \frac{\partial}{\partial \chi_A^m} + \\ &+ H^{++\hat{\mu}+}(\bar{z}, u) \frac{\partial}{\partial \theta^{\hat{\mu}+}} + H^{++\hat{\mu}-}(\bar{z}, u, \theta^-) \frac{\partial}{\partial \theta^{\hat{\mu}-}}, \end{aligned} \quad (2)$$

преобразующейся согласно закону

$$\begin{aligned} \delta \mathcal{D}^{++} &= -\lambda^{++} \cdot \mathcal{D}^{\circ}, \\ \mathcal{D}^{\circ} &= u^{+2} \frac{\partial}{\partial u^{+}} - u^{-2} \frac{\partial}{\partial u^{-}} + \theta^{+2} \frac{\partial}{\partial \theta^{+}} - \theta^{-2} \frac{\partial}{\partial \theta^{-}}, & \delta \mathcal{D}^{\circ} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Переход в калибровку типа Весса-Зумино позволяет идентифицировать компонентные поля немассовой конформной  $N = 2$  супергравитации и понять, что для построения эйнштейновской супергравитации необходимы два компенсирующих мультиплет, один материальный и один максвелловский. Глава завершается построением суперполевых действий основных материальных мультиплетов на фоне конформной  $N = 2$  супергравитации.

В четвертой главе формулировка эйнштейновской  $N = 2$  супергравитации завершается построением инвариантного относительно (1)-(3) действия максвелловского мультиплет  $H^{++F}$ . С этой целью здесь развиты элементы дифференциальной геометрии в гармоническом суперпространстве. Необходимые величины (реперы, связности, плотности) конструируются из "кубиков" - объектов, построенных из препотенциалов и имеющих простые трансформационные законы. Калибровочная инвариантность действия Максвелла доказывается путем перехода в специальный "гибридный" базис, в котором сочетаются свойства аналитичности и калибрности.

Объединение действий материальных и максвелловского компенсаторов на суперконформном фоне приводит к суперполевым действиям четырех версий эйнштейновских супергравитаций. Одна из них, отвечающая  $Q^+$ -гипермультиплету, является существенно новой, она содержит бесконечное число вспомогательных полей.

Глава завершается доказательством утверждения о том, что только в новой версии существует аналитическая плотность для аналитического подпространства и только в ней допустимы общие самодействия  $N = 2$  материи, для которых явно выписывается лагранжиан.

В Приложении приведены доказательства ряда важных тождеств, установленных в основном тексте с помощью тензорных аргументов.

Пятая глава посвящена изометриям  $N = 2$  сигма-моделей и их локализации. Сначала исследуются симметрии общего лагранжиана  $N = 2$  сигма-моделей в плоском суперпространстве

$$S = \frac{1}{2} \int d\bar{z}^{\dot{4}} du \cdot [H_a^+(Q, u) \cdot D^{++} Q^{+a} + L^{(4)}(Q, u)] \quad (4)$$

Устанавливается, что помимо суперсимметрии и репараметризаций, (4) инвариантно относительно сдвига лагранжиана на  $D^{++}\Lambda^{++}(Q, u)$ , который является гиперкэлеровым аналогом хорошо известного кэлерова преобразования. Выписываются уравнения Киллинга и доказывается, что вектор Киллинга выражается через более фундаментальный объект - потенциал Киллинга  $J^{++}$ . Последний имеет смысл нетеровского тока изометрии. Локализация изометрий осуществляется добавлением к (I) слагаемого, линейного по  $N = 2$  полю Янга-Миллса

$$\Delta S = \int d\bar{z}^{\dot{4}} du \operatorname{tr} (V^{++} J^{++}) \quad (5)$$

Затем изучается обобщение этой картины на искривленный случай. Существенное отличие от плоского случая состоит в том, что лагранжиан материи и компенсатора инвариантен относительно "кватернионного" преобразования. Рассмотрены примеры симметрических кватернионных сигма-моделей:  $Sp(n, 1)/Sp(n) \times Sp(1)$ ,  $SU(n, 2)/U(n) \times Sp(1)$ ,  $SO(n, 1)/SO(n) \times O(1)$ ,  $G_{2(2)} / SU(2) \times Sp(1)$  и другие примеры. В заключении обсуждается удивительное явление, что не все изометрии сигма-моделей могут быть локализованы в плоском суперпространстве.

В шестой главе обсуждается решение дифференциальных связей гиперкэлеровой и кватернионной геометрии. Здесь оказываются применимыми методы, развитые в контексте  $N = 2$  суперсимметрии. Понятие гармонической аналитичности позволяет интерпретировать эти связи как условия интегрируемости для сохранения аналитических представлений. Решений связей приводит к двум аналитическим препотенциалам, свободным

от сторонних связей. Для придания препотенциалам геометрического смысла рассматривается расширенная схема, включающая координаты центральных зарядов. Устанавливается взаимно-однозначное соответствие между препотенциалами гиперкэлеровой геометрии и лагранжианом  $N = 2$  сигма-модели в плоском суперпространстве, а также между препотенциалами кватернионной геометрии и лагранжианом  $N = 2$  сигма-модели на фоне новой версии  $N = 2$  супергравитации. Рассматриваются примеры нахождения гиперкэлеровых метрик по их препотенциалам.

В седьмой главе методы, разработанные для  $N = 2$  супергравитации, переносятся на  $N = 3$  случай. Найдена реализация суперконформной группы  $SU(2, 2|3)$  в вещественном аналитическом  $N = 3$  суперпространстве; установлено, что березиниан ее преобразований равен единице. Доказана конформная инвариантность суперполевого действия  $N = 3$  полей Янга-Миллса, содержащего бесконечное число вспомогательных полей. Рассмотрены конформные свойства комплексного аналитического суперпространства меньшей грасмановой размерности. Сформулированы законы сохранения конформного  $N = 3$  супертока в гармоническом суперпространстве.

В приложениях приводятся явный вид и алгебра  $N = 3$  гармонических производных и некоторые детали суперконформных преобразований в комплексном аналитическом суперпространстве.

В заключении подводятся итоги и формулируются основные результаты, полученные в диссертации.

#### Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Гальперин А.С. Суперсимметрия, суперполя, супергравитация. - Материалы 9-ой зимней школы ИТЭФ, Москва, 1981, Атомиздат, с.78-90.
2. Galperin A., Ogievetsky V., Sokatchev E. Versions of  $N=1$  supergravity. - In: Proc. of the XVIII Intern. Symposium on Special Topics in Gauge Field Theories (Ahrenshoop), Berlin, 1983, p.201-233 (Версии  $N = 1$  супергравитации).
3. Galperin A., Ivanov E., Kalitzin S., Ogievetsky V., Sokatchev E. Extended supersymmetry in harmonic superspace. - In: Proc. 1984 Trieste Spring School on Supersymmetry and Supergravity, World Scientific, 1984, p.449-461 (Расширенная суперсимметрия в гармоническом суперпространстве).
4. Galperin A., Ivanov E., Kalitzin S., Ogievetsky V., Sokatchev E. Unconstrained  $N=2$  matter, Yang-Mills and supergravity theories. Sect. V.  $N=2$  Einstein Supergravity. - Class.Quantum Grav., 1984, v.1, p.490-494 (Теории  $N = 2$  материи, Янга-Миллса и супергравитации без связей в гармоническом суперпространстве. Раздел V.  $N = 2$  эйнштейновская супергравитация).

5. Galperin A., Ogievetsky V., Sokatchev E. On a versatile version of supergravity. - In: Proc. of the II International Seminar "Group Theor. Methods in Physics", Gordon and Breach, New York, 1985, p.485-491.
6. Galperin A., Ogievetsky V., Sokatchev E. Matter couplings in  $N=1$  supergravity. - Nucl.Phys.B, 1985, v.252, p.435-457.  
(Материальные взаимодействия в  $N = 1$  супергравитации).
7. Гальперин А., Иванов Е., Огиевецкий В., Сокачев Э. На пути к суперсимметричной теории. - В сб. "Научное сотрудничество социалистических стран в ядерной физике", под ред. Н.Н.Боголюбова, Энергоатомиздат, 1986, с.83-92.
8. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E. Harmonic superspace in action. General  $N=2$  matter self-couplings. - In: Supersymmetry, Supergravity, Superstrings, eds. B. de Wit a.o., World Scientific, 1986, p.511-565 (Гармоническое суперпространство в действии. Общие взаимодействия материальных  $N = 2$  мультиплетов).
9. Гальперин А., Иванов Е., Огиевецкий В., Сокачев Э. Гармоническое суперпространство и расширенные суперсимметрии. - Труды III Международного семинара "Теоретико-групповые методы в физике" (Дрмала, 1985). Москва, Наука, 1986, с.42-52.
10. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E. Present status of harmonic superspace. - In: Proc. of XXIII Intern. Conference on High Energy Physics, Berkeley, 1986, v.1, p.485-489.  
(Современный статус гармонического суперпространства).
11. Гальперин А., Иванов Е., Огиевецкий В., Сокачев Э. Гармоническое суперпространство. Результаты и перспективы. - Труды УШ Международного совещания по проблемам квантовой теории поля (Алушта, 1987). Дубна, 1987, с.267-282 (Публикация ОИЯИ, Д2-87-798).
12. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E. Conformal invariance in harmonic superspace. - In: Quantum Field Theory and Quantum Statistics. Essays in Honour of the Sixtieth Birthday of E.S.Fradkin, eds. I.Batalin a.o., Adam Hilger, Bristol, 1987, v.2, p.233-248.
13. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E. Superspace actions and duality transformations for  $N=2$  tensor multiplets. - Proc. of Nobel Symposium 67, Marstrand (Sweden, 1986), "Unification of Fundamental Interactions". Physica Scripta, T.1987, v.15, p.176-183 (Суперполевые действия и преобразования дуальности для тензорных  $N = 2$  мультиплетов).
14. Galperin A., Nguyen Ahn Ky, Sokatchev E.  $N=2$  supergravity in superspace: solution to the constraints and the invariant action.-

Class. Quantum Grav., 1987, v.4, p.1235-1254.

( $N = 2$  супергравитация в суперпространстве: решение связей и инвариантное действие).

15. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E.  $N=2$  supergravity in superspace: different versions and matter couplings. - Class. Quantum Grav., 1987, v.4, p.1255-1265. ( $N = 2$  супергравитация в суперпространстве: различные версии и материальные взаимодействия).
16. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E.  $N=2$  supergravity in superspace. - In: Proc. of the IV Intern. Seminar on Quantum Gravity, eds. M.A.Markov a.o., World Scientific, 1988, p.539-548 ( $N=2$  супергравитация в суперпространстве).
17. Bagger J., Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V. Gauging  $N=2$  sigma models in harmonic superspace. - Nucl. Phys.B, 1988, v.303, p.522-542 (Локализация изометрий  $N = 2$  сигма моделей в гармоническом суперпространстве).
18. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E. Gauge field geometry from complex and harmonic analyticities. Kahler and self-dual Yang-Mills cases. - Ann.Phys., 1988, v.185, p.1-21 (Геометрия калибровочных полей из комплексной и гармонической аналитичности. Кэлеров и самодуальный янг-миллсов случаи).
19. Galperin A., Ivanov E., Ogievetsky V., Sokatchev E. Gauge field geometry from complex and harmonic analyticities. Hyper-Kahler case. - Ann.Phys., 1988, v.185, p.22-45 (Геометрия калибровочных полей из комплексной и гармонической аналитичности. Гиперкэлеров случаи).
20. Гальперин А., Иванов Е., Огиевецкий В. Суперпространства для  $N = 3$  суперсимметрии. - ЯФ, 1987, т.46, с.948-960.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 февраля 1990 года.