

Утверждаю  
Директор МИАН  
д. ф.-м.н., академик РАН  
/Трещёв Д.В.  
17 сентября 2019

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический  
институт им. В.А. Стеклова

на диссертацию Харука Ивана Вячеславовича

“Применение конструкции смежных классов к изучению теорий с нелинейной реализацией пространственно-временных симметрий”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

В настоящее время фундаментальная физика основывается на Стандартной модели физики частиц. В соответствии с ней любое физическое поле однозначно характеризуется значением спина и своим представлением по внутренней группе симметрий. Примером подобных внутренних симметрий является, в частности,  $SU(2) \times U(1)$  симметрия электрослабого взаимодействия. Несмотря на феноменологический успех Стандартной модели, в области теоретической физики продолжают поиски расширений Стандартной модели. Интерес к ним обусловлен тем, что они позволяют иначе взглянуть, а в лучшем случае решить, современные проблемы фундаментальной физики.

Диссертационная работа И.В. Харука посвящена изучению подобных возможностей, а также способов построения теорий с заданными симметриями. А именно, в диссертации изучаются два вопроса, связанных с применением конструкции смежных классов для построения и изучения теорий с заданными симметриями. Первый из них касается применения конструкции смежных классов для построения конформно-инвариантных теорий и представляет теоретический интерес. Второй вопрос связан с появлением в спектре эффективных теорий так называемых массивных Намбу-Голдстоуновских полей. В настоящее время данная теоретическая возможность обсуждается, в частности, с связи с попытками построения теорий массивной гравитации. Это делает тему диссертационной работы актуальной.

Первая часть диссертационной работы, изложенная во второй главе, посвящена разработке метода построения конформно-инвариантных теорий в рамках конструкции смежных классов. Автором предлагается оригинальная конструкция, позволяющая рассматривать  $2d$ -параметрическое факторпространство (состоящее из экспонент от генераторов трансляций и специальных конформных преобразований) как  $d$ -мерное многообразие. Это оказывается возможным за счёт отождествления параметров при генераторах трансляций с  $d$ -мерными координатами, а параметров при специальных конформных преобразованиях — с образами координат под действием инверсии. В разделе 2.6 диссертационной работы показано, что подобный подход позволяет корректно воспроизвести представления конформной группы, а также лагранжианы широко известных конформных теорий поля.

Ключевым условием предлагаемой конструкции оказывается требование отщепления Намбу-Голдстоуновского поля для специальных конформных преобразований от остальных полей. Оно оказывается эквивалентно условию, что вириальный ток теории должен быть дивергенцией некоторого тензора. Последнее свойство конформных теорий поля давно известно в литературе, и в диссертационной работе получило теоретико-групповое объяснение. Автором также находится явный вид члена, который необходимо добавить к лагранжиану подобных теорий поля в стандартной формулировке, чтобы сделать их строго инвариантными относительно действия специальных конформных преобразований.

В разделе 2.8 исследуется применение предлагаемого формализма в случае, когда конформная инвариантность оказывается спонтанно нарушенной. Главным результатом данной части работы является следующее утверждение: предлагаемый автором подход эквивалентен стандартному подходу, включающему применение обратного условия Хиггса. Данный вывод является важным тестом предлагаемой в работе конструкции. Также в рамках разработанного подхода автор воспроизводит и по-новому интерпретирует известный результат о том, что Намбу-Голдстоуновское поле для специальных конформных преобразований в спонтанно нарушенной фазе никогда не представляет независимую динамическую степень свободы. При этом автор обосновал указанный результат в рамках конструкции смежных классов, что ранее не было сделано.

Таким образом, в первой части работы Харук И.В. совершенствует методы применения конструкции смежных классов к построению конформно-инвариантных теорий.

В разделе 2.7 автор обобщает предлагаемую им конструкцию на случай произвольной группы, показывая необходимость последовательного учёта всех дискретных элементов рассматриваемой группы.

К недостаткам первой части работы можно отнести следующее. Во-первых, автор недостаточно полно обсуждает альтернативные интерпретации предлагаемого им построения. Например, уместно было бы поставить и изучить следующий вопрос: как устроена структура индуцированного представления, если рассматривать ассоциированное со специальными конформными преобразованиями поле как вспомогательное? Во-вторых, хотя предлагаемый автором подход интересен, им не были получены лагранжианы конформных теорий поля, не известные в существующей литературе по данной тематике. Наконец, в тексте диссертации присутствует ряд опечаток и плохо сформулированных предложений. Например, утверждение о эквивалентности стандартного и предлагаемого автором подходов в разделе 2.8 можно истолковать различными способами.

Вторая тема диссертационной работы изложена в третьей главе диссертации. Как известно, в случае спонтанного нарушения внутренних глобальных симметрий все Намбу-Голдстоуновские поля являются безмассовыми. Однако, в случае спонтанного нарушения пространственно-временных симметрий часть из них может приобрести ненулевую массу. Подобный механизм образования массы у полей является альтернативой стандартному механизму Хиггса, и может быть интересен для построения и анализа теорий массивной гравитации.

В данной части работы автором рассматриваются два примера теорий, в которых реализуется одна и та же схема спонтанного нарушения симметрий. В первом случае в спектре эффективной теории возникают массивные Намбу-Голдстоуновские поля, в то время как во втором примере они отсутствуют. Показано, что данное различие обусловлено различным представлением параметра порядка по группе симметрий теории. Обобщая данное наблюдение, И.В. Харук формулирует критерий подсчёта независимых Намбу-Голдстоуновских мод, в том числе массивных. Оказывается, что их количество равно количеству нарушенных генераторов, не аннигилирующих вакуум в начале координат. Данный результат обосновывается автором также при помощи метода индуцированных представлений. Согласованность данных подходов, а также проведенное сравнение полученных результатов с известными утверждениями в литературе, не позволяют сомневаться в достоверности полученных автором результатов.

Стоит отметить, что в рассматриваемом автором примере с массивными Намбу-Голдстоуновскими полями величина щели в спектре эффективной теории не фиксирована симметриями. Ранее подобные поля не обсуждались в литературе. И.В. Харук также предлагает новый способ построения эффективных теорий в случаях, когда пространственная размерность эффективной теории меньше таковой полной теории. Соответствующее построение основано на геометрической интерпретации конструкции смежных классов, а его достоверность проверена на примерах скалярной и векторной доменных стенок.

Полученные в данной главе результаты представляют интерес в контексте изучения построения ультрафиолетового пополнения эффективных теорий (например, массивной гравитации), а также могут быть применены в физике конденсированных сред.

К недостаткам данной части работы можно отнести опущенное объяснение некоторых переходов. Например, в разделе 3.2 не уточнено как автор перешел к рассмотрению только Намбу-Голдстоуновского сектора эффективной теории.

В целом, диссертационная работа написана на хорошем научном уровне. Автор продемонстрировал свободное владение математическим аппаратом, связанным с построением новых моделей с нетривиальной реализацией симметрий. Представленные в диссертации основные результаты являются новыми и были опубликованы в трёх статьях из списка Высшей Аттестационной Комиссии Российской Федерации и одном препринте. Результаты работы были апробированы на докладах автора на различных конференциях и семинарах.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Выносимые на защиту положения содержат новые результаты в области применения конструкции смежных классов и её применения для построения и анализа спектра эффективных теорий. Тема диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.02 — теоретическая физика. Указанные ранее недостатки работы не уменьшают ценность полученных автором результатов.

Диссертация полностью удовлетворяет всем требованиям пункта 8 Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Харук Иван Вячеславович несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Диссертации обсуждалась на семинаре отдела теоретической физики МИАН 26 июня 2019 года.

Отзыв составил:

ведущий научный сотрудник

отдела теоретической физики МИАН,

доктор физ.-мат. наук, профессор

И.Я. Арефьева

телефон: +7 (495) 984-81-41

E-mail: arefeva@mi-ras.ru

Заведующий отделом теоретической физики,  
академик РАН

А.А. Славнов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук (МИАН)  
ул. Губкина, д. 8, Москва, 119991  
Тел.: +7(495) 984 81 41, Факс: +7(495) 984 81 39  
<http://www.mi-ras.ru> E-mail: [steklov@mi-ras.ru](mailto:steklov@mi-ras.ru)  
ОКПО 02699547 ОГРН 1027739665436 ИНН/КПП 7736029594/773601001

Основные публикации сотрудников института по теме диссертации за последние 5 лет:

1. А. А. Славнов, “Перенормируемость и унитарность модели Энглера–Браута–Хиггса–Киббла”, *ТМФ*, **197**:2 (2018), 252–256
2. А. А. Славнов, “Квантование моделей массивных неабелевых калибровочных полей со спонтанно нарушенной симметрией вне рамок теории возмущений”, *ТМФ*, **189**:2 (2016), 279–285
3. А. А. Славнов, “Солитонные решения классических уравнений движения в модифицированной теории Янга–Миллса”, *ТМФ*, **184**:3 (2015), 520–529
4. I. Ya. Aref'eva, A.A. Golubtsova, G. Policastro, “Exact holographic RG flows and the  $A1 \times A1$  Toda chain”, *JHEP*, **2019**:5 (2019), 117, 50
5. I. Aref'eva, Mikhail Khramtsov, Maria Tikhanovskaya, Igor Volovich, “Replica-nondiagonal solutions in the SYK model”, *JHEP*, **2019** (2019), 113
6. D.Ageev, I. Aref'eva, A. Bagrov, M. I. Katsnelson, “Holographic local quench and effective complexity”, *JHEP*, **2018**:8 (2018), 71, 30
7. D. Bykov, “Flag manifold  $\sigma$ -models: the  $1/N$  expansion and the anomaly two-form”, *Nuclear Phys. B*, **941** (2019), 316–360
8. D. Bykov, “Classical solutions of a flag manifold  $\sigma$ -model”, *Nuclear Phys. B*, **902** (2016), 292–301