**Трехпетлевая проверка точных соотношений, связывающих калибровочные**

**β-функции в *N* = 1 SQCD+SQED**

**Ханейчук О.В.1**

1*аспирант*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, РоссияE–mail: [oleshan91@gmail.com](mailto:oleshan91@gmail.com)

Стандартная Модель, как известно, является многозарядной теорией с тремя калибровочными константами связи. Согласно предсказаниям теорий Великого объединения, должен существовать некоторый масштаб, на котором все три константы связи принимают одинаковое значение. Тем не менее, как оказалось, в рамках Стандартной Модели эволюционные кривые для констант связи не сходятся в одной точке. Их объединение происходит в N=1 суперсимметричных расширениях Стандартной Модели, например, в МССМ (Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели) [1]. Другой привлекательной особенностью суперсимметричных теорий является меньшее число расходимостей в ультрафиолетовом диапазоне, что обеспечивается наличием теорем о неперенормировке. Поэтому с точки зрения поиска некой более общей теории, описывающей физику за рамками Стандартной Модели, многозарядные N=1 суперсимметричные теории представляют определенный интерес.

К теоремам о неперенормировке можно также причислить некоторые точные всепетлевые соотношения, присущие только суперсимметричным моделям и связывающие ренормгрупповые функции (РГФ) между собой. Одним из наиболее известных примеров таких соотношений являются соотношения Новикова, Шифмана, Вайнштейна и Захарова (НШВЗ), которые связывают β-функции с аномальными размерностями суперполей материи [3]. Для многозарядных теорий соотношения НШВЗ иногда имеют интересные следствия: в некоторых случаях можно исключить аномальные размерности и получить соотношения, связывающие β-функции между собой. Это означает, что эволюция разных констант связи происходит не независимо. Для *N*=1 SQCD+SQED точное соотношение между *β*-функциями было получено в работе [2]. Теория имеет калибровочную группу симметрии , и, соответственно, две калибровочные константы связи. Аномальные размерности могут быть исключены из соотношений НШВЗ в том случае, когда все суперполя материи имеют заряд по подгруппе , равный единице, и лежат в неприводимом представлении простой неабелевой подгруппы . Тогда имеет место соотношение

где α и обозначают константы связи по подгруппам и соответственно, и их эволюция кодируется соответственно *β*-функциями и . Групповые множители и определяются как

,

где — структурные константы группы , — генераторы в представлении , и есть размерность представления .

В том случае, когда заряды по подгруппе различны для разных суперполей материи, соотношение между *β*-функциями и получить уже нельзя, однако, переходя к пределу , можно получить уравнение, связывающее *β*-функцию для *N*=1 SQCD с *D*-функцией Адлера , которая может быть найдена как предел

.

Функции и будут удовлетворять уравнению

Соотношения НШВЗ зависят от перенормировочного предписания начиная с двухпетлевого приближения для аномальных размерностей и с трехпетлевого приближения для β-функций. Поэтому проверку соотношений между β-функциями, полученных на основе соотношений НШВЗ, следует производить начиная с третьего порядка теории возмущений. Для того чтобы проверить исследуемые соотношения явным трехпетлевым вычислением, было найдено общее выражение для трехпетлевых β-функций многозарядных N=1 суперсимметричных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными. Одной из причин, по которой была выбрана регуляризация высшими ковариантными производными (HD), является выполнение при данной регуляризации соотношений НШВЗ во всех порядках, при условии, что РГФ определены в терминах голых констант связи. Используя это утверждение, оказалось возможным вычислить трехпетлевые β-функции для *N*=1 SQCD+SQED наиболее простым способом. Использовалось произвольное перенормировочное предписание, согласующееся с суперсимметрией.

После подстановки найденных *β*-функций в рассматриваемые соотношения был найден класс схем, в которых эти соотношения сохраняются. Следует отметить, что проверка производилась в минимальном порядке теории возмущений, когда проявляется схемная зависимость.

Было показано, что к найденному классу схем принадлежит схема HD+MSL (когда используется регуляризация HD, а расходимости устраняются при помощи минимального вычитания логарифмов) с произвольными параметрами регуляризации HD. Также было показано, что наиболее часто используемая в суперсимметричных теориях -схема (когда в качестве регуляризации используется размерная редукция, а устранение расходимостей производится путем модифицированных минимальных вычитаний), напротив, к этому классу не принадлежит. Такой результат был вполне ожидаем, поскольку те же утверждения о сохранении в HD+MSL схеме и несохранении в -схеме начиная с трехпетлевого приближения верны и для соотношений НШВЗ, из которых были получены соотношения, проверяемые в данной работе.

**Литература**

1. Amaldi U., de Boer W., Furstenau H. Comparison of grand unified theories with electroweak and strong coupling constants measured at LEP // Phys. Lett. B. 1991. V. 260(3–4). P. 447–455.
2. Kataev A.L., Stepanyantz K.V. Three-loop verification of the equations relating running of the gauge couplings in *N* = 1 SQCD+SQED // arXiv:2410.12070.
3. Novikov V.A., Shifman M.A., Vainshtein A.I., Zakharov V.I. Exact Gell-Mann–Low function of supersymmetric Yang–Mills theories from instanton calculus // Nucl. Phys. B. 1983. V. 229(2). P. 381–393.