

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Арефьевой Ирины Ярославны
на диссертацию Шкерина Андрея Викторовича «Солитоны и их классическая
устойчивость в теориях комплексного скалярного поля с глобальной $U(1)$ -симметрией»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.02 – «теоретическая физика»

В диссертации Шкерина А.В. «Солитоны и их классическая устойчивость в теориях комплексного скалярного поля с глобальной $U(1)$ -симметрией» рассмотрены различные свойства локальных нелинейных классических конфигураций, возникающих в релятивистской теории комплексного скалярного поля с потенциалом специального вида в $1+1$ либо в $3+1$ измерениях. Основное внимание уделено исследованию устойчивости решений относительно малых линейных возмущений скалярного поля.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав основного текста, заключения, двух приложений и списка цитируемой литературы.

В 1-й главе диссертационной работы изучались протяженные нетопологические солитоны, обладающие угловым моментом – так называемые Q -трубки. Эти решения интересно сравнить, с одной стороны, со сферически-симметричными Q -шарами, а с другой стороны, с топологическими солитонами типа калибровочного вихря. В частности, мотивацией к изучению классической устойчивости Q -трубок служит тот факт, что вихри с большим моментом тяготеют к распаду. В работе анализировалась устойчивость Q -трубок относительно линейных возмущений, не нарушающих аксиальную симметрию фонового решения. Было обнаружено, что трубки с ненулевым моментом неустойчивы во всем диапазоне частот. В частности, на них не распространяется критерий Вахитова-Колоколова устойчивости Q -шаров. Было также показано, что распадная мода Q -трубки не сферически-симметрична и, более того, не единственна. Это также отличает трубки от Q -шаров. С другой стороны, для Q -трубок с нулевым моментом не было найдено неустойчивостей помимо тех, что характерны для Q -шаров. Полученные результаты интересны в теоретическом плане и могут говорить, например, о перспективах обнаружения Q -трубок в теории конденсированного состояния. С другой стороны, в диссертации не были рассмотрены иные типы возмущений, например, те, что соответствуют развитию неоднородностей вдоль оси симметрии трубки. Из энергетических соображений можно было бы ожидать, что всякая Q -трубка тяготеет к распаду в цепочку Q -шаров, при условии сохранения энергии, заряда и углового момента.

2-я глава диссертационной работы посвящена сравнительному анализу устойчивых Q -шаров, неустойчивых Q -шаров и однородного скалярного конденсата. Было продемонстрировано, что при определенном выборе потенциала в теории возможно наличие устойчивого конденсата и, одновременно, устойчивых Q -шаров. Данное наблюдение ставит вопрос о механизмах распада конденсата. В самом деле, естественно ожидать, что Q -шары формируются в результате развития неоднородностей в неустойчивом конденсате. Для случая устойчивого конденсата можно предположить образование Q -шаров путем его туннелирования. В работе была выдвинута гипотеза, что

при подходящих условиях туннельная экспонента насыщается на сфалеронном решении, которое есть ни что иное, как неустойчивый Q -шар. Эта гипотеза поддерживается тем фактом, что распадная мода неустойчивого Q -шара единственна.

В 3-й главе диссертационной работы вводятся в рассмотрение новые виды нетопологических солитонов. Они являются локальными нелинейными разряжениями либо сгущениями плотности скалярного конденсата. Объекты похожего вида хорошо известны в теории интегрируемых систем. В частности, среди решений нелинейного уравнения Шредингера и уравнения Кортевег-де Фриз при определенном выборе параметров присутствуют т.н. темные солитоны, представляющие собой локальные понижения интенсивности поля на однородном фоне. Темные солитоны имеют большое значение в нелинейной оптике, где с ними связываются практические задачи, например, по передачи информации. Все это делает весьма интересным обнаружение подобных объектов в релятивистской теории поля. В данной диссертационной работе был проведен первоначальный анализ таких солитонов (Q -дырок и Q -балджей). Их отличительным свойством является асимптотика скалярного поля на больших расстояниях, которая в общем случае не стремится к вакуумной. Это ведет к ряду интересных следствий. В частности, в работе продемонстрировано, что энергия Q -дырки относительно энергии фонового конденсата может быть как положительной, так и отрицательной. Далее, было показано, что при определенном выборе скалярного потенциала теория может допускать одновременное существование Q -шаров и Q -дырок. Был также поставлен вопрос о классической стабильности Q -дырок и Q -балджей и приведены аргументы в пользу их неустойчивости. В данном направлении исследований возникает много новых вопросов; часть из них была сформулирована в заключительной секции главы. Было отмечено, что солитоны типа Q -дырок и Q -балджей могут играть важную роль в динамике скалярных полей в ранней Вселенной.

В 4-й главе диссертации предметом изучения являются линейные моды возмущений стабильных (или метастабильных) Q -шаров. Рассмотрение малых осцилляций классических объектов имеет большую теоретическую значимость. Отметим, например, что знание спектра осцилляций необходимо в задаче квантования солитона. Малые возмущения также оказываются полезны в изучении взаимодействия солитонов друг с другом и с окружающей радиацией. В диссертационной работе рассматривались осцилляционные моды Q -шаров в теориях с точно решаемыми потенциалами. Было замечено, что в теории с плоским потенциалом Q -шары с достаточно большим зарядом обладают мягкими модами, число которых тем больше, чем больше заряд солитона. Было также обнаружено, что в спектре Q -шаров с частотами, близкими к критической, присутствует сферически-симметричная осцилляционная мода, которая является аналитическим продолжением распадной моды неустойчивых решений. Приведенные результаты могут найти применение при исследовании более сложных объектов типа бозонных звезд, чье рассмотрение актуально с точки зрения феноменологии.

В заключении диссертационной работы приводятся ее основные результаты. Список цитируемой литературы включает 109 наименований.

В качестве замечаний к работе можно заметить некоторую “оторванность” от физических приложений. Во Введении отмечено, что Q-шары используются при изучении ряда вопросов в космологии и астрофизике -- бариогенезисе, фазовых переходах в ранней Вселенной, темной материи, альтернативах черным дырам, в также в конденсированных средах, однако непосредственных физических приложений не рассматривается. Оценки, связанные с неустойчивостью и временем распада соответствующих конфигураций могли бы найти приложения при выборе моделей.

Диссертационная работа Шкерина А.В. выполнена на высоком уровне, полученные в ней результаты хорошо обоснованы и изложены в трех публикациях в научных журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией, и одном препринте. Диссертационная работа Шкерина хорошо написана. Автореферат правильно и полно раскрывает содержание диссертации.

Диссертационная работа Шкерина А.В. «Солитоны и их классическая устойчивость в теориях комплексного скалярного поля с глобальной $U(1)$ -симметрией» отвечает всем требованиям Высшей Аттестационной Комиссии. Шкерин А.В. бесспорно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Отзыв составлен ведущим научным сотрудником Отдела теоретической физики МИАН, доктором физико-математических наук, профессором Арефьевой И.Я.

Доктор физико-математических наук,
Профессор,
Ведущий научный сотрудник
Отдел теоретической физики
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук»
119991, г. Москва, ул. Губкина, д. 8
тел. +7 499 941 01 87
e-mail: arefeva@mi.ras.ru

Арефьева Ирина Ярославна

03 августа 2018 г.

Подпись д.ф.м.н., проф., в.н.с. И.Я. Арефьевой удостоверяю.

Ученый секретарь МИАН

П.А. Яськов

Арефьева Ирина Ярославна

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 –
теоретическая физика
профессор

Список основных публикаций по теме диссертации за последние 5 лет:

1) Holographic Anisotropic Background with Confinement-Deconfinement Phase Transition

By Irina Aref'eva, Kristina Rannu.

[10.1007/JHEP05\(2018\)206](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2018)206).

JHEP 1805 (2018) 206.

2) Thermalization of holographic Wilson loops in spacetimes with spatial anisotropy

By D. S. Ageev, I. Ya. Aref'eva, A. A. Golubtsova, E. Gourgoulhon,

[doi:10.1016/j.nuclphysb.2018.04.016](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2018.04.016)

Nuclear Phys. B, **931** (2018), 506–536

3) Notes on the SYK model in real time

By Irina Aref 'eva, Igor Volovich,

Theor.Math.Phys. 197 (2018) no.2, 296-310

4) Holographic Non-equilibrium Heating,

By D. S. Ageev, I. Ya. Aref'eva

[doi:10.1007/JHEP03\(2018\)103](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2018)103)

JHEP 1803 (2018) 103

5) Holographic local quench and effective complexity

By D. S. Ageev, I. Ya. Aref'eva, A.A.Bagrov and M.I.Katsnelson

[doi:10.1007/JHEP08\(2018\)071](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2018)071)

JHEP 1808 (2018) 071

6) Thermalization after holographic bilocal quench

By Irina Ya. Aref'eva, Mikhail A. Khramtsov, Maria D. Tikhanovskaya.

[10.1007/JHEP09\(2017\)115](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2017)115).

JHEP 1709 (2017) 115.5)

7) И. Я. Арефьева, И. В. Волович, О. В. Иноземцев, “Голографический контроль информации и динамическое изменение топологии составных открытых квантовых систем”,

[10.1134/S0040577917120091](https://doi.org/10.1134/S0040577917120091)

ТМФ, **193** (2017), 493–504

8) Holography for Heavy Ions Collisions at LHC and NICA

By Irina Aref'eva.

arXiv:1612.08928 [hep-th].

[10.1051/epjconf/201716401014](https://doi.org/10.1051/epjconf/201716401014).

EPJ Web Conf. 164 (2017) 01014.

9) Улучшенный метод изображений для голографического описания конических дефектов,

И. Я. Арефьева, М. А. Храмцов, М. Д. Тихановская

[10.1134/S0040577916110106](https://doi.org/10.1134/S0040577916110106)

ТМФ, **189**:2 (2016), 296–311

10) Analytic black branes in Lifshitz-like backgrounds and thermalization

By Irina Ya. Aref'eva, Anastasia A. Golubtsova, Eric Gourgoulhon.

[10.1007/JHEP09\(2016\)142](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2016)142).

JHEP 1609 (2016) 142.

11) Holographic dual of a time machine

By Irina Arefeva, Andrey Bagrov, Petter Saterskog, Koenraad Schalm.

[10.1103/PhysRevD.94.044059](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.94.044059).

Phys.Rev. D94 (2016) no.4, 044059.

12) AdS/CFT prescription for angle-deficit space and winding geodesics

By Irina Ya. Aref'eva, Mikhail A. Khramtsov.

[10.1007/JHEP04\(2016\)121](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2016)121).

JHEP 1604 (2016) 121.

13) “Время образования кварк-глюонной плазмы при столкновениях тяжелых ионов в голографической модели с ударными волнами”,

И. Я. Арефьева,

[doi:10.1007/s11232-015-0331-x](https://doi.org/10.1007/s11232-015-0331-x)

ТМФ **184** (2015) 398–417

14) Shock waves in Lifshitz-like spacetimes,

by I.Ya. Aref'eva and A.A.Golubtsova,

[doi:10.1007/JHEP04\(2015\)011](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2015)011)

JHEP 1504(2015) 011

15) И. Я. Арефьева, “Голографическое описание кварк-глюонной плазмы, образующейся при столкновениях тяжёлых ионов”,

[10.3367/UFNr.0184.201406a.0569](https://doi.org/10.3367/UFNr.0184.201406a.0569)

УФН, **184**:6 (2014), 569–598