

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
Соколова Владимира Андреевича
на тему «Эффекты нелинейной электродинамики вакуума»
по специальности 1.3.3 Теоретическая физика

Диссертация В.А. Соколова посвящена развитию теоретических моделей нелинейной электродинамики вакуума, а также изучению новых физических эффектов, возникающих вследствие нелинейного характера электромагнитных процессов в полях высокой интенсивности, включая режимы, близкие к швингеровскому пределу.

Современная теория фундаментальных взаимодействий допускает возможность расширения электромагнитного сектора Стандартной модели путем включения неминимальной нелинейной зависимости функционала действия от инвариантов тензора электромагнитного поля. Такой подход приводит к разрешению ряда принципиальных сложностей, связанных с проблемами регуляризации в теории поля, а также указывает на возможность существования новых эффектов, обусловленных нелинейностью модели. В диссертационной работе В.А. Соколова проведено исследование принципов построения моделей нелинейной электродинамики вакуума, выполнено последовательное развитие теоретических методов описания новых эффектов, связанных с такими моделями и, что наиболее важно, сделаны их оценки и указаны способы их регистрации. Развитие перспективных экспериментальных проектов в области физики сверхсильных полей, в том числе с использованием высокоинтенсивных лазерных источников, а также новые методы наблюдения в астрофизике высоких энергий позволяют выполнить экспериментальную проверку результатов, полученных в диссертации. Это способствует переходу целого ряда моделей нелинейной электродинамики вакуума из разряда чисто математических концепций к

категории физически проверяемых теорий, что указывает на значимость и актуальность диссертационного исследования для развития современной теоретической физики.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. В первой главе диссертации проводится последовательная разработка методики описания полевых систем нелинейной электродинамики вакуума в тетрадном представлении. Значительное внимание уделяется учету возможных ограничений для исследуемых моделей, при этом автором получено новое соотношение для девиатора тензора энергии-импульса, которое может рассматриваться как обобщение энергетических условий.

Исследование эффектов в экстремально сильных электромагнитных полях астрофизических источников – тема второй главы диссертации. Проводится анализ особенностей собственного излучения магнитного ротатора в пост-максвелловском приближении и влияния таких поправок на динамику его вращения. Отдельно рассматриваются случаи быстрого и медленного вращения ротатора. Значительная часть главы 2 посвящена исследованию структуры пространства-времени заряженных статических чёрных дыр в нелинейной электродинамике Борна-Инфельда. Автором изучено распространение электромагнитного излучения и движение массивных незаряженных частиц вблизи чёрных дыр. Далее исследуется возможность существования в моделях нелинейной электродинамики вакуума самосогласованных гравимагнитных конфигураций (типа геонов) с цилиндрической симметрией при различной ориентации магнитного поля.

В третьей главе диссертации в эйкональном приближении изучается распространение электромагнитного излучения в поле модельного пульсара и исследуется запаздывание нормальных волн, вызванное эффектом двулучепреломления в магнитном поле пульсара. Вычисления проведены в пертурбативном режиме. Проведен анализ возможности обнаружения эффекта запаздывания нормальных мод излучения в спутниковых экспериментах.

Эффект двойного лучепреломления волн во внешнем электромагнитном поле в непertурбативном режиме исследован в четверной главе диссертации. Показана мультипликативная структура дисперсионных соотношений, получены выражения для эффективных показателей преломления, на основании которых выполнены оценки времени запаздывания нормальных волн для пульсаров с экстремально сильным магнитным полем.

В пятой главе диссертации исследуются модели нелинейной электродинамики, симметричные относительно конформных преобразований метрики. Описаны сильные стороны таких моделей и необходимые ограничения при их построении. Для общего класса указанных моделей исследованы эффекты двойного лучепреломления и оптической невзаимности. В заключительной части главы представлена особая форма нарушения условия дуальной инвариантности, описана методика построения моделей, основанных на нарушении данной симметрии.

Резюмируя, следует сказать, что в диссертационной работе В.А. Соколова получен ряд новых научных результатов, важных для физики экстремально сильных электромагнитных полей. Особенного внимания заслуживает обнаруженный автором эффект регуляризации эффективного пространства-времени экстремальных чёрных точек, открывающий возможность поиска новых астрофизических объектов с необычными свойствами. Не менее значимыми являются результаты изучения эффекта двойного лучепреломления электромагнитных волн в вакууме, особенно в непertурбативном режиме в рамках нелинейной электродинамики Гейзенберга-Эйлера. Интересной и перспективной представляется новая модель конформно-инвариантной нелинейной электродинамики, а также обобщенное условие дуальной симметрии, предложенные В.А. Соколовым.

Отмеченные результаты являются лишь частью большого и всестороннего исследования, выполненного в диссертации. Она обладает несомненной научной новизной и значимостью для развития современной теории поля.

Все результаты, представленные автором к защите, являются новыми и актуальными.

Разработанные в диссертационной работе методы и исследованные с их помощью эффекты могут быть использованы для уточнения экспериментального статуса разнообразных моделей нелинейной электродинамики вакуума, большое количество которых сейчас рассматривается в научной литературе. В частности, оценки эффекта двойного лучепреломления электромагнитных волн в сильном магнитном поле пульсаров и анализ поправок к полю собственного излучения пульсара крайне актуальны для планирования и обработки результатов новых астрофизических наблюдений, в том числе с участием спутниковых обсерваторий рентгеновского и гамма-излучений.

В диссертации использованы методы современной теоретической физики, хорошо обоснованная техника проведения моделирования и анализа, а также верифицированные приближения и численные алгоритмы. Значительное внимание автором удалено проверке соответствия новых результатов уже известным решениям в предельных случаях. Изложение материала последовательное, четкое и подробное. Все основные выводы и положения, выносимые на защиту, хорошо аргументированы и обоснованы.

Результаты диссертации, выносимые на защиту, опубликованы в 15 статьях в рецензируемых научных изданиях, а том числе в высокорейтинговых физических журналах, а также неоднократно докладывались автором диссертации на научных семинарах и конференциях. Они хорошо известны специалистам в области физики экстремально сильных электромагнитных полей. Следует отметить, что в ряде указанных работ, включающих принципиально важные результаты, В.А. Соколов является единственным автором.

Хочу отметить несколько замечаний по диссертации:

- 1) Раздел 1.1. первой главы можно было сократить, перенеся громоздкие уравнения электромагнитного поля (1.14)-(1.17) в одно из Приложений.

- 2) Следовало отметить ограничения, касающиеся применимости энергетического условия, особенно для тех типов материи, в отношении которых проведена его верификация.
- 3) При исследовании поправок к замедлению вращения пульсаров не рассмотрены эффекты, связанные с синхротронным и изгибным излучениями релятивистских частиц в магнитосфере пульсара. Для молодых пульсаров такой механизм, по эффективности потерь, может быть сопоставим с рассматриваемым дипольным излучением.
- 4) В разделе 2.6 главы 2 изучены три частных конфигурации магнитного поля («продольная», «радиальная» и «аксиальная»). Было бы интересно описать общий случай магнитного поля, наклоненного к оси симметрии геона под произвольным углом.
- 5) В тексте диссертации имеется несколько опечаток. Так, на страницах 9, 18 и 20 вместо сочетания «зараженная(ый) черная дыра(коллапсар)» следовало написать «заряженная(ый) черная дыра(коллапсар)».

Указанные замечания, однако, нисколько не умаляют значимости результатов, полученных в диссертации В.А. Соколова. Она отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации полностью соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, автор диссертации Соколов Владимир Андреевич, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Отдела теоретической физики
ФГБУ «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Киселёв Александр Викторович

10.04.2026

Контактные данные:

тел.:

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, д. 1,
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Отдел теоретической физики
Тел.:

Подпись сотрудника Института физики высоких энергий
имени А.А. Логунова Национального исследовательского
центра «Курчатовский институт» А.В. Киселёва удостоверяю:

Ученый секретарь Института физики высоких энергий
имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»,
кандидат физико-математических наук

10.04.2026