

УТВЕРЖДАЮ

Ректор
Ярославского государственного
университета им. П.Г. Демидова
профессор

Русаков Александр Ильич

« ____ » _____ 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на кандидатскую диссертацию Сатунина Петра Сергеевича «Эффекты гипотетического нарушения лоренц-инвариантности в астрофизике частиц высоких энергий», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Диссертация посвящена исследованию возможных наблюдательных проявлений в астрофизике элементарных частиц гипотезы о том, что лоренц-инвариантность является лишь приближенной симметрией, которая может нарушаться при сверхвысоких энергиях.

С середины XX века анализ симметрий физических теорий является одним из базовых методов для открытия фундаментальных законов микромира. Известны примеры как симметрий, изначально считавшихся точными, но оказавшимися приближенными (пространственная и зарядовая четность, комбинированная *CP*-четность), так и симметрий, с самого начала рассматривавшихся как приближенные (сохранение/несохранение странности, очарования и т.д.), введение которых позволило существенно углубить наше понимание законов Природы. Симметрия фундаментальных взаимодействий относительно преобразований Лоренца является одним из базовых принципов современной физики, который проверен с высокой точностью во множестве экспериментов. Однако имеют право на существование теоретические подходы, согласно которым лоренц-инвариантность может являться лишь приближенной симметрией, реализуемой на относительно низких энергиях, доступных современным экспериментам, но может быть нарушена при более высоких энергиях. Выявление наблюдательных следствий гипотетического отклонения от лоренц-инвариантности и уточнение ограничений на величину отклонения является в настоящее время направлением активных исследований. Особую актуальность эти исследования приобрели в связи со значительным

прогрессом в области экспериментов по астрофизике элементарных частиц сверхвысоких энергий.

Одной из задач диссертации является изучение модели квантовой электродинамики с дополнительными членами, нарушающими лоренц-инвариантность, для которой выведены правила Фейнмана, формулы суммирования по поляризациям и интегрирования по фазовому объему; впервые в рассмотрение самосогласованным образом включены нарушающие лоренцеву симметрию операторы с размерностью более четырех.

Другой задачей диссертации была разработка, на основе подхода «инстантонов на мировой линии», квазиклассического метода описания процессов рождения заряженных частиц в магнитном поле, имеющего прозрачную геометрическую интерпретацию; с помощью данного метода предложен новый вывод ширины распада фотона на электрон-позитронную пару в магнитном поле. Эти результаты представили особый интерес для ученых кафедры теоретической физики ЯрГУ им. П.Г. Демидова, в ряде работ которых изучались процессы рождения заряженных частиц в магнитном поле, с использованием значительно более сложного аппарата квантовой теории поля во внешней активной среде. Следует отметить значимость полученных автором диссертации результатов по вычислению экспоненциальных частей вероятностей исследованных процессов для дополнительного анализа применимости методов квантовой теории поля в условиях активной магнитодоминирующей астрофизической среды.

Кроме того, в рецензируемой диссертации рассмотрены и решены следующие задачи. В диссертации впервые

- вычислены ширины процессов распада фотона на электрон-позитронную пару и вакуумного черенковского излучения, а также сечений реакций рождения высокоэнергетическим фотоном электрон-позитронной пары на мягком фотоне и в кулоновском поле ядра; показано, что для расчета сечений необходимо принимать во внимание как кинематические, так и динамические аспекты нарушения лоренц-инвариантности;
- разработанный на основе подхода «инстантонов на мировой линии» квазиклассический метод обобщен на модель с нарушенной лоренц-инвариантностью, показано, что ширина распада фотона в слабом магнитном поле экспоненциально чувствительна к величине нарушения лоренц-инвариантности;
- показано, что отклонения от лоренц-инвариантности оказывают влияние на развитие широких атмосферных ливней, индуцированных фотонами в атмосфере Земли, отмечено, что возможное наблюдение в будущем атмосферных ливней от фотонов сверхвысоких энергий, совместных с предсказаниями стандартной теории, поставит двусторонние ограничения на параметры нарушения лоренц-инвариантности в секторе квантовой электродинамики; с помощью численного моделирования наборов фотонных событий сделаны количественные предсказания

относительно ожидаемых ограничений, показано, что их точность может на несколько порядков превысить точность ограничений, существующих в настоящее время.

В связи с перечисленными результатами имеются следующие вопросы: имеется ли возможность обобщения используемого подхода для учета вкладов предэкспоненциальных факторов в вероятности исследованных процессов, и для анализа процессов с трехчастичными конечными состояниями?

Оценивая работу в целом, отметим, что это оригинальное и важное исследование на актуальную тему. Решение поставленных задач потребовало от автора свободного владения методами современной теоретической физики. Материалы диссертации своевременно опубликованы в трех статьях в ведущем научном журнале *Phys. Rev. D*, докладывались на международных научных конференциях и семинарах. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации могут найти применение в исследованиях, проводимых в ИЯИ РАН, ОИЯИ, ФИАН, МИАН, ИТЭФ, на Физическом факультете МГУ, а также в других научных организациях, где ведутся работы по теоретической физике высоких энергий.

Диссертация Сатунина Петра Сергеевича «Эффекты гипотетического нарушения лоренц-инвариантности в астрофизике частиц высоких энергий» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, и полностью соответствует пункту 3 «Теория фундаментальных взаимодействий и квантовая теория поля. Изучение явлений на малых масштабах и при больших энергиях. Разработка математических методов теории поля» паспорта специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв подготовлен по итогам обсуждения докладов П.С. Сатунина на семинаре кафедры теоретической физики Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова 17 февраля 2014 г. и на Международном семинаре «Кварки-2014», г. Суздаль, 2-8 июня 2014 г.

Отзыв составил профессор кафедры
теоретической физики
доктор физ.-мат. наук, профессор _____ А.В. Кузнецов

Отзыв одобрен на заседании кафедры теоретической физики ЯрГУ
им. П.Г. Демидова, протокол № 1 от 15 сентября 2014 г.

И.о. заведующего кафедрой
теоретической физики
кандидат физ.-мат. наук, доцент _____ А.Я. Пархоменко

Сведения о ведущей организации

1) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

2) Российская Федерация, Ярославская область, г. Ярославль

3) 150000, г.Ярославль, ул. Советская, д.14, +7 (4852)72-82-56, rectorat@uniyar.ac.ru, <http://www.uniyar.ac.ru/>

4) Список основных публикаций работников ведущей организации по тематике диссертации в рецензируемых журналах за последние 5 лет:

1. A.V. Kuznetsov, N.V. Mikheev. "Neutrino processes in an external active medium". JETP Lett. 99 (2014) 665-673
2. A.V. Kuznetsov, N.V. Mikheev, A.M. Shitova. "Ultra-high energy neutrino dispersion in plasma and radiative transition $\nu_L \rightarrow \nu_R + \gamma$ ". Int.J.Mod.Phys. A26 (2011) 4773-4784
3. A.V. Kuznetsov, D.A. Romyantsev, V.N. Savin. "Creation of electron-positron pairs at excited Landau levels by neutrino in a strong magnetic field". Int.J.Mod.Phys. A29 (2014) 26, 1450136
4. A.V. Kuznetsov, N.V. Mikheev, A.V. Serghienko. "High energy neutrino absorption by W production in a strong magnetic field". Phys.Lett. B690 (2010) 386-389.
5. A.V. Kuznetsov, N.V. Mikheev, A.A. Okrugin. "Plasma-induced neutrino helicity flip in a supernova core and a constraint on the Dirac neutrino magnetic moment". J.Exp.Theor.Phys. 111 (2010) 70-81