



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Самсонова Александра Сергеевича «Влияние реакции излучения и генерации электрон-позитронных пар на взаимодействие лазерного излучения и потоков заряженных частиц с веществом» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Работа выполнена в Отделе сверхбыстрых процессов (отд. 330) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Костюков Игорь Юрьевич, заведующий отделом ИПФ РАН, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук.

В 2019 г. соискатель ученой степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки/ специальности 03.04.02 Физика.

В период с 01.09.2019 по 31.08.2023 обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000011 от 10 июля 2023 года.

В период подготовки диссертации соискатель Самсонов Александр Сергеевич работал младшим научным сотрудником отдела сверхбыстрых процессов (отд. 330) в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

### **Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации**

Автор внес основополагающий вклад в получение результатов, представленных в диссертации. Постановка задач и анализ полученных результатов проводились совместно с научным руководителем И. Ю. Костюковым при участии Е. Н. Неруша, А. М. Пухова, М. Филиповича, К. Бауманна.

## **Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования**

1. Разработана асимптотическая теория движения заряженных частиц в режиме экстремальных радиационных потерь. Определены общие свойства движения частиц в таком режиме, существенно отличающиеся от таковых в режиме слабой реакции излучения.
2. Продемонстрирован новый метод получения приближённого решения уравнений движения с учётом реакции излучения в различных конфигурациях: однородных вращающихся параллельных электрическом и магнитном полях, полях линейного ускорителя, плоских волнах.
3. Обнаружен и качественно описан эффект развития самоподдерживающегося квантово-электродинамического каскада в поле, приближенном к полю плоской волны, возникающий при взаимодействии экстремально интенсивного лазерного излучения с тонкой твердотельной мишенью. Разработана аналитическая модель, описывающая развитие такого КЭД каскада.
4. Разработана модель для вычисления параметра разрушения при лобовом столкновении сильноточных пучков ультрарелятивистских частиц с учётом реакции излучения. Достоверность модели подтверждена результатами полноразмерного трёхмерного численного моделирования. Оценено влияние реакции излучения на столкновение пучков с параметрами, ожидающимися на ускорителях нового поколения ILC, CLIC, FACET-II.
5. С помощью полноразмерного трёхмерного численного моделирования продемонстрирована схема эффективной генерации гамма-излучения при взаимодействии сильноточного пучка ультрарелятивистских электронов с протяжённой плазменной мишенью. Разработана аналитическая модель для вычисления эффективности конверсии энергии пучка в энергию гамма-излучения. Найдены параметры пучка для установки FACET-II, оптимальные с точки зрения генерации гамма-излучения.
6. Разработана и реализована в коде QUILL альтернативная схема для численного решения уравнений Максвелла на регулярной сетке, отличающаяся существенно подавленной численной черенковской неустойчивостью, и подходящей для моделирования пучков ультрарелятивистских частиц.

## **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Высокая степень достоверности результатов проведенных исследований обеспечивается использованием надёжных физических моделей и применением теоретических методов, имеющих строгое математическое обоснование. Результаты сопоставлялись с результатами, полученными с помощью различных проверенных численных методов, в частности полномасштабного трехмерного численного моделирования, основанного на базовых физических принципах, а также с результатами, полученными ранее другими авторами. Результаты работы успешно представлены в передовых физических журналах и докладывались на ряде всероссийских и международных конференциях.

## **Практическая и теоретическая значимость результатов исследования**

1. Разработанная теория движения частиц в условиях экстремальных радиационных потерь может быть использована в качестве дополнительного аналитического

инструмента для определения динамики частиц в различных конфигурациях электромагнитного поля.

2. Проведённое численное моделирование процесса взаимодействия экстремально интенсивного слабо-сфокусированного лазерного излучения с тонкой твердотельной мишенью расширяет класс конфигураций электромагнитного поля, в которых возможно наблюдение самоподдерживающегося квантово-электродинамического каскада.

3. Разработанная аналитическая модель развития квантово-электродинамического каскада в плоской волне, учитывающая пространственную, а не только временную, динамику частиц может быть адаптирована для исследования развития квантово-электродинамических каскадов в других конфигурациях, например, при взаимодействии лазерного излучения с различными мишенями, пучками частиц, взаимодействии пучков друг с другом.

4. Проведённое численное моделирование и разработанная аналитическая модель усиления фокусировки сильноточных пучков при их столкновении за счёт реакции излучения может быть использована для уточнения требуемых параметров пучков при проведении экспериментов на коллайдерах и ускорителях нового поколения, таких как CLIC, ILC, FACET-II.

5. Проведённое численное моделирование взаимодействия сильноточного пучка ультрарелятивистских частиц с протяжённой плазменной мишенью может быть использовано для планирования экспериментов на коллайдерах и ускорителях нового поколения по генерации яркого гамма-излучения.

6. Разработанная схема для численного решения уравнений Максвелла на сетке с подавленной черенковской неустойчивостью может быть реализована в PIC-кодах для существенного увеличения достоверности результатов моделирования процессов с участием пучков ультрарелятивистских частиц.

**Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук**

1. Formation and dynamics of a plasma in superstrong laser fields including radiative and quantum electrodynamics effects / I. I. Artemenko [и др.] // JETP letters. — 2016. — Т. 104, № 12. — С. 883—891.

2. Samsonov, A. S. Asymptotic electron motion in the strongly-radiation-dominated regime / A. S. Samsonov, E. N. Nerush, I. Yu. Kostyukov // Physical Review A. — 2018. — Т. 98, № 5. — С. 053858.

3. Samsonov, A. S. Laser-driven vacuum breakdown waves / A. S. Samsonov, E. N. Nerush, I. Yu. Kostyukov // Scientific reports. — 2019. — Т. 9, № 1. — С. 1—11.

4. Samsonov, A. Superluminal phase velocity approach for suppression of Numerical Cherenkov Instability in Maxwell solver / A. Samsonov, A. Pukhov, I. Kostyukov // Journal of Physics: Conference Series. Т. 1692. — IOP Publishing. 2020. — С. 012002.

5. Samsonov, A. S. Hydrodynamical model of QED cascade expansion in an extremely strong laser pulse / A. S. Samsonov, I. Yu. Kostyukov, E. N. Nerush // Matter and Radiation at Extremes. — 2021. — Т. 6, № 3. — С. 034401.

6. Samsonov, A. S. Effect of electron–positron plasma production on the generation of a magnetic field in laser-plasma interactions / A. S. Samsonov, E. N. Nerush, I. Yu. Kostyukov // Quantum Electronics. — 2021. — Т. 51, № 10. — С. 861.

7. Beamstrahlung-enhanced disruption in beam-beam interaction / A. S. Samsonov [и др.] // New Journal of Physics. — 2021. — Т. 23, № 10. — С. 103040.

8. Effect of transverse displacement of charged particle beams on quantum electrodynamic processes during their collision / M. Filipovic [и др.] // Quantum Electronics. — 2021. — Т. 51, № 9. — С. 807.

9. Samsonov, A. S. Simulation of Gamma-Ray Generation in Interaction of High-Current Ultrarelativistic Particle Beams with Plasma / A. S. Samsonov, I. Yu. Kostyukov // Optics and Spectroscopy. — 2022. — Т. 130, № 3. — С. 219—223.

10. Samsonov, A. S. High-order corrections to the radiation-free dynamics of an electron in the strongly radiation-dominated regime / A. S. Samsonov, E. N. Nerush, I. Yu. Kostyukov // Matter and Radiation at Extremes. — 2022. — Т. 8, № 1. — С. 014402.

Работа аспиранта представляет высокую научную ценность. Материалы диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени, изложены полно. Ссылки на отдельные результаты, в том числе работы, выполненные аспирантом в соавторстве, оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.9. Физика плазмы.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Влияние реакции излучения и генерации электрон-позитронных пар на взаимодействие лазерного излучения и потоков заряженных частиц с веществом» Самсонова Александра Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.9. — Физика плазмы.

Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Присутствовало на заседании 15 чел.

Результаты голосования: «за» — 15 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел.

протокол № 6 от « 20 » июня 2023 г.



---

Коржиманов Артем Владимирович,  
кандидат физико-математических наук,  
Учёный секретарь отделения нелинейной динамики  
и оптики, зам.зав.отделом 330