

«УТВЕРЖДАЮ»



Ректор НИЯУ МИФИ

/ Шевченко В.И./

17 » 11 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Самсонова Александра Сергеевича
**«Влияние реакции излучения и генерации
электрон-позитронных пар на взаимодействие лазерного
излучения и потоков заряженных частиц с веществом»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.9
«Физика плазмы»

Представленная диссертационная работа А.С. Самсонова посвящена теоретическому исследованию влияния реакции излучения и фоторождения электрон-позитронных пар на процессы в экстремально сильных электромагнитных полях, в частности при взаимодействиях лазерного излучения с плотной плазмой и сильнофокусированных пучков ультрарелятивистских частиц.

Актуальность диссертационной работы. Актуальность представленной работы обусловлена в первую очередь недавним вводом в строй и открытием для экспериментов мультитераваттных лазерных установок (ELI, Apollon, SULF), а также завершающейся работой по проектированию еще более мощных установок субэкзаваттного класса (SEL, XCELS). Ожидается, что это позволит начать систематическое экспериментальное исследование квантовоэлектродинамических процессов в нелинейном режиме, в котором они ранее напрямую практически не наблюдались. В связи с этим остро стоит задача актуализации кодов, предназначенных для полномасштабного моделирования поведения плазмы в сильных полях с целью интерпретации данных планируемых экспериментов. Аналогичные расчетные методы используются для расчета столкновений на лептонных коллайдерах. В настоящее время в эту работу включены многие научные группы как в России, так и за рубежом. В частности, большой интерес представляет сравнение результатов полномасштабного моделирования с предсказаниями аналитических или хорошо контролируемых упрощенных

численных моделей с целью интерпретации результатов моделирования и выявления роли отдельных физических процессов в зависимости от параметров. Важной особенностью принятого в диссертации подхода является именно детальный анализ результатов численного моделирования и их интерпретация на основе интуитивно понятных моделей.

Структура диссертационной работы. Диссертация А.С. Самсонова состоит из введения, трех глав, заключения, двухстраничного приложения, общего списка литературы из 220 наименований и отдельно списка трудов автора по теме диссертации из 20 наименований. Полный объем текста составляет 176 страниц, включая титульный лист, оглавление, 39 рисунков и их полный список по главам в конце работы.

Во **Введении** обосновывается актуальность проведенных в диссертации исследований, дается обзор литературы, формулируется цель и ставятся задачи работы, излагаются ее научная новизна и практическая значимость, формулируются выносимые на защиту положения, обосновывается достоверность полученных результатов, приводятся данные об апробации работы, личном вкладе автора и количестве публикаций по теме диссертации.

В **первой главе** исследованы общие свойства квазиклассического движения частиц в режиме доминирования радиационных потерь. Показано, что в таком режиме скорость электронов быстро ориентируется так, что поперечная к ней составляющая действующей на электрон силы радиационного трения практически зануляется. Разработанный общий подход проиллюстрирован на конкретных конфигурациях электромагнитного поля: воспроизведено решение обобщенной задачи Зельдовича, продемонстрировано снижение среднего темпа ускорения электронов в модельном плазменном ускорителе и проанализировано движение электрона в плоской волне с учетом радиационного трения.

Вторая глава посвящена всестороннему анализу результатов моделирования каскада, возникающего при облучении экстремально интенсивным лазерным импульсом тонкой твердотельной плазменной мишени (фольги). Показано, что в такой ситуации образуется прилегающая к ускоряющейся мишени плотная электрон-позитронная «подушка», фронт которой движется существенно

медленнее скорости света. Она эффективно поглощает лазерное излучение за счет ускорения электронов и позитронов, в то время как фоторождение пар, обеспечивающее развитие каскада, происходит в основном на ее границе с вакуумом. Показано, что аналитическая модель, основанная на одномерных уравнениях многокомпонентной гидродинамики, достаточно полно воспроизводит процессы, происходящие при развитии КЭД каскада, включая макроскопическое распределение частиц и энергетический баланс в системе.

В третьей главе рассмотрено взаимодействие сильноточных пучков ультрарелятивистских частиц друг с другом и с протяженной плазменной мишенью. В первом случае исследовано влияние реакции излучения при движении частиц одного пучка в поле встречного пучка на скорость (де-)фокусировки пучков. Разработана оригинальная аналитическая модель, позволяющая рассчитывать параметр разрушения с учётом реакции излучения. Предсказания модели подтверждены результатами трехмерного численного моделирования и обсуждаются в применении к перспективным коллайдерам FACET-II, CLIC и ILC. Во втором случае обнаружена и объяснена неожиданно высокая эффективность конверсии энергии пучка электронов в энергию гамма-излучения. Наконец, построена и реализована новая численная схема решения уравнений Максвелла на регулярной сетке, позволяющая подавить численную черенковскую неустойчивость с минимальной модификацией стандартно используемых алгоритмов.

В **Заключении** сформулированы шесть основных результатов работы, наиболее важные из которых на наш взгляд следующие:

1. Разработана асимптотическая теория движения заряженных частиц в режиме экстремальных радиационных потерь.
2. Обнаружен и исследован эффект развития самоподдерживающегося квантово-электродинамического каскада при взаимодействии экстремально интенсивного лазерного излучения с тонкой твердотельной мишенью.
3. Разработана модель для вычисления параметра разрушения при лобовом столкновении сильноточных пучков ультрарелятивистских частиц с учётом реакции излучения.

При изучении диссертационной работы возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. Из текста диссертации непонятно, что может означать часто встречающаяся в легендах на рисунках аббревиатура НС.
2. Из обсуждения после формулы (1.69) создается впечатление, что автору не удалось четко сформулировать критерий применимости его асимптотической теории в общем случае.
3. Ясно, что основной упор в главе 2 сделан на интерпретации результатов моделирования в рамках одномерной модели. Тем не менее, в экспериментах высокая интенсивность лазерного импульса достигается в том числе за счет жесткой фокусировки. В связи с этим интересно, как она влияет на рассматриваемые в этой главе процессы, в частности, мешает ли пондеромоторное поперечное выталкивание рожденных в вакуумной области пар их втягиванию в плазменную подушку, как это изображено на Рис.2.6? Также было бы интересно исследовать зависимость порога зарождения каскада от плотности мишени.
4. Указанные вопросы и замечания не снижают общей положительной оценки работы и значимости полученных результатов. Диссертационная работа А.С. Самсонова выполнена на высоком научном уровне и вносит значительный вклад в развитие теории плазмы и процессов в сильных электромагнитных полях.

Научная и практическая значимость работы. Разработанные в главах 1 и 2 модели могут использоваться для тестирования кодов предназначенных для моделирования лазерной плазмы в экстремально сильных полях. Результаты главы 3 могут использоваться для уточнения требуемых параметров пучков при планировании и обработке данных экспериментов на лептонных коллайдерах и ускорителях нового поколения (FACET-II, CLIC, ILC). Наконец, разработанная схема для численного решения уравнений Максвелла на сетке с подавленной черенковской неустойчивостью может быть реализована в PIC-кодах для существенного повышения достоверности результатов моделирования широкого круга процессов с участием пучков ультрарелятивистских частиц.

Представленные в диссертационной работе результаты опубликованы в виде десяти статей в международных научных журналах из перечня ВАК, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus и докладывались и обсуждались на многих (более десяти) международных конференциях и школах.


Диссертационная работа А.С. Самсонова представляет самостоятельное и целостное исследование, выполненное на актуальную тему и на очень высоком профессиональном уровне. Автореферат полно отражает содержание диссертации. Работа отвечает всем требованиям к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор А.С. Самсонов заслуживает, за значительный вклад в исследование влияния реакции излучения и фоторождения электрон-позитронных пар на характер протекания процессов в экстремально сильных электромагнитных полях, присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 «Физика плазмы».

Диссертация Самсонова Александра Сергеевича «Влияние реакции излучения и генерации электрон-позитронных пар на взаимодействие лазерного излучения и потоков заряженных частиц с веществом» и отзыв на нее заслушаны и одобрены на совместном семинаре кафедры теоретической ядерной физики и института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ (присутствовало на заседании 13 чел., результаты голосования: «за» – 13 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол №15/01 от 14 ноября 2023г).

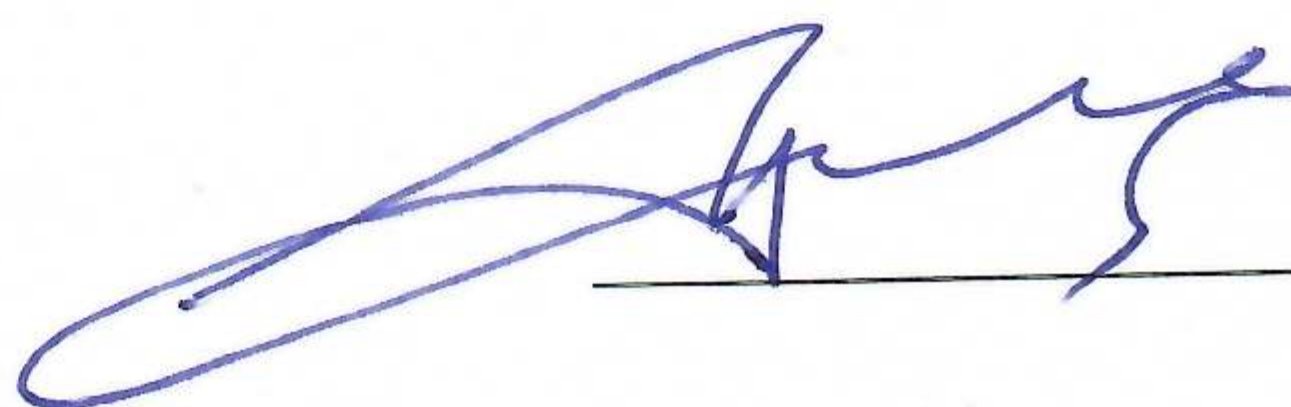
Заведующий кафедрой теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н.

 С.В. Попруженко

Директор Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., доцент

 А.П. Кузнецов

Председатель Совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., профессор

 Н.А. Кудряшов