

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор - начальник Управления
научной политики Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский
государственный университет имени М.
В. Ломоносова» (МГУ), профессор



Федянин А.А.

" " _____ 2021 г.

ОТЗЫВ ведущей организации

на диссертационную работу *Пугачёвой Дарьи Валерьевны*

«Лазерно-плазменное ускорение поляризованных заряженных частиц» на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика
плазмы

В диссертация Пугачёвой Д.В. исследуются лазерно-плазменные методы получения электронных и позитронных пучков сверхвысоких энергий с заданной спин-поляризацией. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, трёх глав, заключения и списка литературы, включающего 136 наименований. Общий объем диссертации составляет 106 страниц.

Во **введении** содержится обоснование актуальности темы исследования, сформулирована цель диссертационной работы, обозначены научная новизна, научная и практическая значимость, перечислены основные результаты и положения, выносимые на защиту, а также содержатся сведения об апробации работы и публикациях диссертанта.

Обзор литературы, состоящий из трёх разделов, включает в краткой форме основные теоретические и экспериментальные результаты по исследованиям генерации лазерным импульсом кильватерных волн в плазме, различным способам инжекции и ускорения электронов в поле кильватерной волны. Уделено внимание вопросу об использовании спин-поляризованных пучков электронов и позитронов для экспериментов в области физики высоких энергий.

В **первой главе** приводится система уравнений, описывающая процесс генерации кильватерной волны лазерным импульсом в плазменном канале в приближении цилиндрической симметрии. Уравнения движения частицы и динамики ее спина записываются с учетом структуры фокусирующих и ускоряющих полей, действующих на

частицу в процессе лазерно-плазменного ускорения. Для случая линейной фокусирующей силы и однородной ускоряющей силы получена аналитическая зависимость, позволяющая описывать динамику компонента спина электрона в процессе ускорения. Приведены начальные параметры электрона и оптимальная фаза инжекции в кильватерную волну, которые позволяют минимизировать конечную деполяризацию.

Во второй главе исследуется возможность получения высококачественных электронных и позитронных сгустков, ускоренных в многостадийном лазерно-плазменном коллайдере. Анализируются основные механизмы роста спайсового эмиттанса. Делается вывод, что наибольшее влияние на рост эмиттанса оказывает фокусирующая сила, действие которой приводит к перемешиванию фаз бетатронных колебаний в сгустке. Для того, чтобы минимизировать перемешивание фаз, предлагается инжектировать пучок частиц с согласованными параметрами, позволяющими предотвратить осцилляции среднего радиуса сгустка, в область относительной линейности фокусирующей силы.

Показано, что в умеренно нелинейном режиме лазерно-плазменного ускорения максимальный прирост энергии у позитронов меньше по сравнению с электронами.

Во второй главе также обсуждается способ ввода частиц в ускорительную стадию и вывод из нее с сохранением качества сгустка. Для минимизации роста эмиттанса и деполяризации на входе и выходе предлагается использовать линейно нарастающие и спадающие профили плотности плазмы с одновременным изменением радиуса канала, что должно обеспечить медленное изменение кильватерных полей на масштабе бетатронных колебаний.

В третьей главе оценивается влияние синхротронного излучения, возникающего вследствие бетатронных колебаний частицы под действием фокусирующей силы, на динамику характеристик электрона при различных режимах лазерно-плазменного ускорения. Для этого диссертант учитывает в уравнениях движения частицы силу радиационного трения, записанную в форме Ландау-Лифшица, а для описания динамики спина использует обобщенное Т-БМТ уравнение, учитывающее эффект радиационной самополяризации, открытый А.А. Соколовым и И.М. Терновым. Из результатов моделирования ускорения электрона до энергии около 4 ТэВ в однородной ускоряющей и линейной фокусирующей силах с заданными характерными для различных режимов значениями делается вывод, что в случае сильно нелинейного режима радиационное трение приводит к уменьшению темпа набора энергии электроном и снижает деполяризацию. В случае умеренно нелинейного режима ускорения до 4 ТэВ влияние бетатронного излучения незначительно. Эффект Соколова-Тернова практически не влияет на динамику поляризации в обоих рассматриваемых режимах для заданных параметров.

Замечания:

1. Подавляющее большинство расчетов в работе проведено для одного набора параметров, либо в узком диапазоне параметров. Хотя расширение диапазона параметров и требует существенного времени для расчетов, тем не менее в диссертации хотелось бы, во-первых, найти обоснование выбранных для расчета параметров, а, во-вторых, обсуждение реалистичности тех или иных режимов с точки зрения их экспериментальной реализации, а также возможных последствий ухода от выбранного диапазона параметров. В большинстве представленных в работе результатов оба эти момента отсутствуют.
2. Для ввода пучка в ускоряющую стадию с минимальным ростом эмиттанса предлагается использовать линейный нарастающий профиль плазмы. Не обсуждается, является ли выбранная протяженность линейно нарастающего участка оптимальной. Что изменится, если взять другой профиль, например гауссов или экспоненциальный, как более близкие к экспериментально реализуемым.
3. Получены оптимальные условия инъекции для минимизации деполяризации, определяющие фазу инъекции и ограничивающие начальный радиус пучка. К какому ограничению на заряд пучка это приведет? На сколько уменьшится заряд пучка такого плазменного ускорителя при выполнении условий, необходимых для минимизации деполяризации?
4. В работе отсутствует определение ряда ключевых параметров (эмиттанс, слайсовый эмиттанс и др.), которые приняты в ускорительном сообществе, однако в рамках рассматриваемой диссертации, на наш взгляд, нуждаются в пояснении.
5. Подпись к рисунку 1.5 сделана неудачно – понять, что именно показано на этом рисунке сразу не получается.
6. В работе можно найти опечатки, синтаксические и орфографические ошибки.
7. Список публикаций по диссертации не содержит публикаций в высокорейтинговых журналах из первого или второго квартиля, хотя полученные результаты вполне соответствуют этому уровню.

Проведенные исследования являются **актуальными** поскольку ускорители на основе лазерно-плазменных методов потенциально являются более дешевой и компактной альтернативой классическим радиочастотным ускорителям. Эксперименты в этой области демонстрируют значительный прогресс, уже получены электронные сгустки с энергией превышающей 8 ГэВ, успешно продемонстрировано двухстадийное ускорения.

Современные установки для экспериментов по физике высоких энергий предполагают использование сгустков с заданной спин-поляризацией, поэтому исследования динамики спина в кильватерном поле лазерно-плазменного ускорителя являются необходимыми для успешного использования ускорителей нового типа в подобных экспериментах.

Научная новизна и достоверность результатов, полученных Пугачёвой Д.В., подтверждаются публикациями в рецензируемых журналах из списка ВАК, а также многочисленными выступлениями диссертанта на конференциях как российского, так и

международного уровня. Проведенные исследования обладают **научной и практической значимостью**, поскольку могут быть использованы в различных российских и международных проектах, таких как XCELS, FACET, EuPRAXIA и др.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Тема диссертации Пугачёвой Д.В. соответствует паспорту специальности 1.3.9 – физика плазмы.

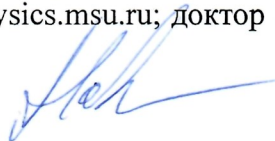
Заключительная часть:

Диссертация обсуждена и одобрена на семинаре кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова (протокол №20 от 19.11.2021).

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор, Пугачёва Дарья Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Отзыв подготовил профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова).

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Физический факультет; +7(495) 939-53-18, www.msu.ru, abst@physics.msu.ru; доктор физико-математических наук Савельев-Трофимов Андрей Борисович.



Савельев-Трофимов А.Б.

Зав.кафедрой
общей физики и волновых процессов
профессор



В.А.Макаров

" " _____ 2021 г.

Физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Почтовый адрес: ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Физический факультет, г. Москва, 119991

Телефон: +7 495 939-16-82,

e-mail: info@physics.msu.ru