

УТВЕРЖДАЮ

Директор Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН
Член-корреспондент РАН
Колачевский Николай Николаевич



«11» марта 2022 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Минакова Владимира Алексеевича «Особенности ускорения пучков в плазменной кильватерной волне длинного модулированного драйвера», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.9. Физика плазмы и 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Минакова В.А. посвящена исследованию плазменного кильватерного ускорения с использованием протонного драйвера с целью выявления и описания различных эффектов, влияющих на качество ускоряемого сгустка. На данный момент развитие идеи кильватерного ускорения привело к созданию установок, создающих ускоряющие градиенты порядка ГэВ/м и более. Использование протонного пучка в качестве драйвера в плазменном ускорителе является новым направлением. Интерес к нему обусловлен высоким энергосодержанием пучка. Однако такой драйвер имеет длину на два порядка больше, чем привычные электронные или лазерные импульсы, из-за чего проявляются новые специфические эффекты. Эти эффекты оказывают непосредственное влияние на параметры ускоряемого пучка, что и обуславливает актуальность диссертационной работы.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 76 страницах и содержит 28 рисунков и 6 таблиц. Список литературы содержит 57 наименований.

Во введении обоснована актуальность исследования, формулируется цель, задачи работы, а также положения, выносимые на защиту, обосновываются научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов работы. Отмечены личный вклад автора, апробация работы на конференциях и семинарах, публикации по теме диссертации.

Первая глава диссертации посвящена численному коду, который использовался для проведения моделирования. Это техническая глава, в которой приводится описание моделей пучка и плазмы, а также квазистатического приближения, которое используется в данном коде. Кроме того, описан такой инструмент данного кода, как потоки энергии, и рассказано о реализации параллельных вычислений.

Во второй главе исследуется зависимость максимального возбуждаемого кильватерного поля от ряда параметров эксперимента. В начале главы кратко описан эксперимент AWAKE (Advanced Proton Driven Plasma Wakefield Acceleration Experiment), моделирования которого стали основой данной работы. После чего показано, как меняется амплитуда ускоряющего поля при варьировании параметров плазмы и драйвера. Выявлены физические эффекты, ограничивающие рост волны. Основным эффектом оказалось ее нелинейное удлинение, из-за которого улучшение параметров в какой-то момент перестает приводить к линейному росту поля. Кроме того, важными параметрами оказались эмиттанс пучка и масса ионов плазмы. Оба параметра держатся на определенном значении, так что при изменении его в одну сторону не происходит роста ускоряющего поля, а изменение в другую сторону приводит к уменьшению амплитуды волны.

В третьей главе исследуется рост эмиттанса ускоряемого сгустка из-за флуктуаций плотности драйвера. В настоящее время в литературе уже описаны несколько причин роста эмиттанса, тогда как в рамках рецензируемой работы представлен еще один. В первой части главы сообщается о первом наблюдении эффекта и показано, что флуктуации плотности пучка приводят к росту эмиттанса благодаря флуктуациям формы потенциальной ямы. Во второй части главы предложен и проверен способ подавления роста эмиттанса путем увеличения заряда ускоряемого пучка. Такая проверка осуществлялась с использованием декартовых координат, чтобы исключить возможное двоякое толкование результатов осесимметричных расчетов. Установлено, каким образом увеличение заряда пучка помогает сохранить эмиттанс хвостовой части последнего.

Четвертая глава посвящена исследованию обнаруженного эффекта роста ускоряющего поля, обусловленного движением ионов плазмы. Показано, что при использовании в качестве драйвера длинного протонного пучка при некоторых параметрах учет движения ионов плазмы приводит не к уменьшению ускоряющего поля, как это происходит обычно, а наоборот – к его росту. Проведен анализ соответствующего изменения потока энергии в плазме, однако пока не найден ответ на вопрос, откуда берется энергия для увеличения амплитуды колебаний.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертации. В конце дается список используемой литературы и список рисунков.

Научная новизна исследования

В рамках диссертационной работы Минакова В.А. был впервые описан ряд физических эффектов, возникающих в кильватерных ускорителях. Эти эффекты либо связаны, либо наиболее выражено проявляются при использовании протонного драйвера из-за его большой длины. На данный момент именно с использованием такого драйвера проводятся исследования в целях международного эксперимента AWAKE и в рамках сотрудничества по которому проводилась работа автора.

Обоснование и достоверность результатов

Результаты, полученные в ходе исследований, проведенных в диссертационной работе, являются хорошо обоснованными. Так, результаты численного моделирования количественно согласуются с результатами эксперимента.

Научная и практическая значимость

Результаты, представленные в диссертационной работе Минакова В.А., позволили выявить и охарактеризовать оптимальные режимы для осуществления эксперимента AWAKE. Описанные в работе эффекты существенно влияют на параметры ускоряемого пучка и, следовательно, должны учитываться при проектировании установки со схожими параметрами.

Оценка работы

На основании рассмотрения материала диссертации, автореферата и выступления диссертанта на научном семинаре в отделении квантовой радиофизики ФИАН, ведущая организация считает, что диссертационная работа Минакова Владимира Алексеевича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, вносящую существенный вклад в расчетно-теоретическую разработку метода кильватерного ускорения частиц и выполненную на высоком научном уровне. Тема и содержание диссертации соответствуют специальностям 1.3.9. Физика плазмы и 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореферат в достаточной мере и правильно отражает содержание работы, ее результаты и выводы. Тема диссертации является актуальной, а полученные в работе результаты являются новыми и оригинальными. Полученные результаты прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и семинарах, и опубликованы в 13 статьях рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Замечания по работе

1. В качестве общего замечания, следует отметить излишний лаконизм в изложении полученных результатов, включая Заключение, хотя объем диссертации с запасом позволяет более развёрнуто и, значит, понятнее их представить. Например, очевидно, что в проведенном исследовании важным является выяснение насколько оптимальными оказываются предполагаемые параметры для ожидаемой фазы эксперимента AWAKE, называемые базовыми (Табл.2), что требует их вариации. В этой связи естественным в Заключении было бы целостно сформулировать вариации каких конкретно из критических параметров, указанных в Табл.2, приводят к улучшению/ухудшению качества ускоряемого пучка и в какой мере.
2. Непонятным выглядит рассуждение автора относительно пороговых значений эмиттанса и заряда пучка, поскольку не дается их определения (§2.2). Отсюда, например, неясно, что означает «их улучшение» в положении 1, выносимом на защиту.
3. Обнаруженный при учете движения ионов эффект увеличения ускоряющего поля было бы желательно связать с физической природой, не подменяя «эффектом перераспределения энергии в волне ...», также требующим объяснения его физической причины (Заключение) Это важно, поскольку движение ионов обычно негативно влияет на электронные колебания.
4. Текст диссертации страдает жаргонизмом:
«нет большого запаса прочности»
«алгоритм проходит вдоль пучка»
«вычли из каждой кривой ее значение в нуле»
«чувствительность всегда меньше единицы» и др.

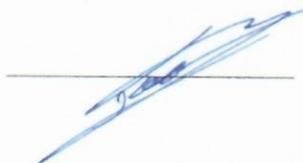
Сделанные замечания не затрагивают защищаемых положений и не влияют на общую положительную оценку работы в целом.

Заключение

Диссертационная работа «Особенности ускорения пучков в плазменной кильватерной волне длинного модулированного драйвера» полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации (№ 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Минаков Владимир Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.9. Физика плазмы и 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника..

Доклад Минакова В.А. по материалам диссертации был заслушан и обсужден на Семинаре Отделения квантовой радиофизики ФИАН 18 февраля 2022 г. Отзыв подготовлен заведующим сектором, профессором, доктором физико-математических наук Быченковым Валерием Юрьевичем и одобрен на заседании Семинара.

Заведующий Сектором
лазерно-плазменной физики высоких энергий,
доктор физ.-мат. наук, проф.
Быченков Валерий Юрьевич
тел.: +7(499) 132-69-06
e-mail: bychenkovvy@lebedev.ru



/ Быченков В.Ю. /

Председатель Семинара, Руководитель Отделения
квантовой радиофизики ФИАН
доктор физ.-мат. наук, проф.
Ионин Андрей Алексеевич
тел.: +7(499) 783-36-90
e-mail: ioninaa@lebedev.ru



/ Ионин А.А. /

Подписи сотрудников ФИАН, Быченкова В.Ю. и Ионина А.А., заверяю:

Ученый секретарь ФИАН



/ Колобов А.В. /

«11» _____ марта _____ 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН)
119991 Москва, Ленинский проспект, д.53
телефон: +7(499) 132 -65-54
e-mail: office@lebedev.ru