

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких
температур Российской академии наук

д.ф.-м.н., академик РАН

 О.Ф. Петров

« 21 » ноября 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Горна Александра Андреевича

«Особенности кильватерного ускорения с протонным драйвером в радиально ограниченной плазме»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Актуальность темы исследования

Получение электронов с энергиями от нескольких ГэВ является важной задачей ускорительной физики, поскольку такие частицы позволят изучить новые фундаментальные вопросы физики высоких энергий. На данный момент основным способом ускорения электронов является использование высокочастотных ускорительных структур. Из-за возможного пробоя в таких структурах сложно создать электрическое поле напряженностью более 100 МВ/м. В последнее время наблюдается бурное развитие альтернативных методов ускорения частиц. Одним из таких методов является плазменное кильватерное ускорение. Темп ускорения в плазме не ограничен пробоем на поверхности резонатора, и на данный момент экспериментально получены поля на 2 порядка выше. Если такое поле будет создано драйвером, движущимся со скоростью близкой к скорости света, то появится возможность продолжительного ускорения электронов в плазменной волне, бегущей за драйвером. Наиболее перспективными драйверами для получения ТэВных электронов являются протонные пучки и лазерные импульсы.

Протонные пучки имеют энергетику достаточную, для ускорения сгустка электронов с зарядом несколько пКл до энергии порядка 1 ТэВ в одной секции. Однако существует много явлений, создающих трудности для использования таких драйверов. Например, длина протонных пучков на данный момент на два порядка превосходит плазменную длину волны при интересующих исследователей плотностях плазмы, что не позволяет эффективно возбуждать волну в плазме без дополнительных ухищрений. Эволюция как ускоряющего, так и ускоряемого пучков также подвергается влиянию со стороны границы плазмы, которая может находиться на расстоянии всего нескольких скин-слоев плазмы. Это влияние должно быть исследовано, для улучшения качества получаемых пучков.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Работа изложена на 95 страницах и содержит 41 рисунок и 5 таблиц. Список литературы содержит 108 наименований.

Во введении автор обосновывает актуальность и новизну исследования, формулирует цели и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту. Кроме того, здесь отмечен личный вклад автора и перечислены публикации по теме диссертации и апробация работы.

В первой главе описан эксперимент AWAKE, проводящийся в ЦЕРНе. Автор описал схему экспериментальной установки, перечислил диагностики эксперимента и режимы его работы. Кроме того, в рамках главы показаны самые впечатляющие результаты, полученные коллаборацией AWAKE.

Вторая глава посвящена изучению влияния близости границы плазмы к оси драйвера на процесс ускорения в целом и реакции плазмы в частности. Показано, что результаты, полученные в рамках этой главы, уже нашли применение в работе коллектива эксперимента, а именно привели к изменению схемы инъекции витнеса в плазменную ячейку.

В третьей главе проведено полномасштабное сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Показано количественное согласие с точностью до 5%.

В заключении перечислены основные результаты работы.

Научная новизна исследования

В рамках работы Горна А.А. было расширено аналитическое описание реакции плазмы на ультрарелятивистский пучок на область радиально ограниченной плазмы.

Научная и практическая значимость полученных результатов

Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования Горна А.А., существенно повлияли на схему эксперимента AWAKE, изменив схему инъекции ускоряемых частиц в плазму. Кроме того, учет эффектов, связанных с конечностью радиуса плазмы, позволил добиться количественного согласия результатов моделирования и измерений в эксперименте. Автором диссертации получены новые оригинальные результаты, важные для реализации концепции ускорения заряженных частиц в плазме до высоких энергий.

Обоснованность и достоверность результатов

Достоверность результатов, полученных экспериментом AWAKE, обоснована воспроизводимостью процесса ускорения электронов, показанной автором в первой главе. Результаты же моделирования подтверждаются количественным согласием с результатами эксперимента. Этому сравнению посвящена третья глава.

Соответствие паспорту научной специальности

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в области исследования «Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования

взаимодействий пучков заряженных частиц с электромагнитными полями, друг с другом, с молекулами остаточного газа и мишенями» (п. 7 паспорта специальности).

Апробация работы

Результаты работы опубликованы в 16 статьях, индексируемых WoS и Scopus, они докладывались на большом числе российских и международных конференций.

Замечания по диссертационной работе

1) Используемая в диссертации физико-математическая модель не сформулирована с необходимыми подробностями:

- не сформулированы уравнения с граничными и начальными условиями, решениями которых являются приведенные в диссертации выражения (2.5) - (2.7);
- не сформулирована модель диэлектрической проницаемости, следствием скачка которой является видимый на рисунке 2.4 скачок радиальной компоненты электрического поля на границе плазмы;
- не проведен анализ исходных уравнений модели, который позволил бы более полно сформулировать условия применимости квазистатического приближения, чем это сделано на стр. 11.

2) В работе недостаточно четко и ясно обсуждаются модели профиля протонного драйвера:

- В формуле (2.3) подразумевается исходный протонный драйвер, отвечающий параметрам эксперимента AWAKE, но при этом не указано, каким образом в эксперименте создавался такой резкий передний фронт драйвера.
- В формуле (2.25), по видимому, подразумевается один из протонных сгустков, на который разбивается исходный драйвер в процессе развития неустойчивости, но явно об этом не сказано, а кроме того, не указано значение длины L такого сгустка.
- В разделе 2.4 при выводе формулы (2.27) использовано представление «длинного протонного пучка» с гауссовой продольной огибающей (длина которого обозначена символом σ_z символа L), однако не указано, как огибающая протонного пучка в формуле (2.27) соотносится с представлениями об огибающих в формулах (2.3) и (2.25).
- Не указаны критерии узости ширин переднего фронта драйвера, лазерного импульса и плазмы, а также положения по продольной координате центра лазерного импульса и фронтов протонного драйвера и плотности плазмы, что позволило бы объяснить, почему лазерный импульс создает достаточную первоначальную заправку для развития самомодуляционной неустойчивости контролируемым образом.

3) В диссертации имеются многочисленные неточности и (или) не очевидные утверждения, не влияющие на общую положительную оценку работы, но затрудняющие чтение текста диссертации, например:

- на Рис. 1 – ошибка в обозначениях;
- на стр. 3 малопонятная без дополнительных пояснений фраза «Создание пучков электронов из-за своей простоты требует меньших затрат»;
- на Рис. 2.6, 2.9, 2.10, 2.21 фигурирует не определенная в тексте величина n_0 ;

- на стр. 41 ниже формулы (2.26) неточная фраза "... Два других члена — это радиальная электростатическая сила от полного заряда электронов внутри цилиндра радиуса r " (третий член содержит концентрацию частиц n_b драйвера, который может быть и протонным пучком).

Приведенные замечания не затрагивают защищаемых положений и не оказывают влияния на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа «Особенности кильватерного ускорения с протонным драйвером в радиально ограниченной плазме» 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, Горн Александр Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв на диссертационную работу Горна Александра Андреевича рассмотрен, обсужден и одобрен на семинаре лаборатории №1.3 - теории лазерной плазмы ОИВТ РАН 17 ноября 2022 г., протокол № 14.

Отзыв подготовлен заведующим лабораторией, доктором физико-математических наук, профессором Андреевым Николаем Евгеньевичем.

Заведующий лабораторией №1.3 - теории лазерной плазмы ОИВТ РАН,
доктор физ.-мат. наук, профессор
Андреев Николай Евгеньевич
тел.: +7 (495) 485-97-22
e-mail: andreev@ras.ru

Подпись сотрудника ОИВТ РАН Н.Е. Андреева удостоверяю:

Ученый секретарь ОИВТ РАН,
доктор физ.-мат. наук



Амиров Равиль Хабибулович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт
высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)
адрес: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13 стр. 2
телефон: +7 (495) 484-23-00
e-mail: webadmin@ihed.ras.ru

