

## Отзыв

на автореферат диссертации Минакова Владимира Алексеевича  
«Особенности ускорения пучков в плазменной кильватерной волне длинного  
модулированного драйвера», представленной 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»

Перспективные ускорители, основанные на плазменных методах и позволяющие получить ускоряющие градиенты на порядки больше, чем в традиционных радиочастотных ускорителях, активно исследуются в последнее время. Как следует из представленного автореферата, диссертационная работа Минакова В.А. посвящена плазменным ускорителям, основанным на использовании протонного «драйвера», в которых длинный высокоэнергетичный протонный сгусток возбуждает кильватерную волну большой амплитуды за счет развития самомодуляционной или поперечной двухпотоковой неустойчивости, а волна используется для ускорения электронного пучка. Данный метод лежит в основе идеи крупного европейского экспериментального проекта AWAKE, в котором также участвует Минаков В.А., поэтому актуальность работы не вызывает вопросов. Диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию некоторых особенностей этого метода, для чего преимущественно использовалось квазисатическое осесимметричное численное моделирование методом «частиц в ячейках» на основе известного кода LCODE. В частности, были решены следующие важные задачи:

- Найдены оптимальные параметры пучка ионов для эксперимента AWAKE и показано, что используемые в эксперименте параметры являются в некотором смысле пороговыми: в то время как ухудшение поперечного эмиттанса и уменьшение заряда пучка привело бы к заметному снижению амплитуды ускоряющего поля, дальнейшее улучшение этих параметров не оказалось бы существенного влияния на амплитуду.
- Обнаружен и объяснен эффект роста эмиттанса ускоряемого электронного пучка за счет влияния несогласованности протонного драйвера с плазмой. Также показано, что этот эффект уменьшается с ростом заряда ускоряемого пучка, так как флуктуации фокусирующей силы компенсируются собственным кильватерным полем пучка.
- Продемонстрирован эффект усиления амплитуды ускоряющего поля и увеличения коэффициента трансформации за счет влияния движения ионов плазмы на генерацию кильватерной волны.

К несомненным преимуществам работы можно отнести высокий уровень ее практической значимости для объяснения результатов и проектирования дальнейших исследований в рамках эксперимента AWAKE, а также для других схожих экспериментов. Результаты диссертационной работы опубликованы в 13 статьях в высокорейтинговых журналах (из них 9 в составе коллаборации AWAKE) и представлены на международных конференциях, что свидетельствует об их научной новизне и достоверности.

По содержанию автореферата можно сделать следующие замечания:

1. В таблице 1 приведен параметр «Положение лазера относительно центра пучка». По всей видимости, здесь подразумевается лазерный импульс, используемый для ионизации плазмы и стабилизации фазы самомодуляционной неустойчивости в эксперименте AWAKE. Но в тексте автореферата роль лазерного импульса и его положения относительно драйвера нигде не упомянута.

2. Утверждение о том, что масса ионов не влияет на степень усиления ускоряющего поля при учете их движения, кажется не совсем корректным. Приближение неподвижных ионов, с которым производится сравнение, соответствует их бесконечной массе, поэтому должно существовать какое-то характерное пороговое значение массы ионов, при котором эффект усиления пропадет.
3. Из содержания автореферата не совсем понятно, чем эффект влияния движения ионов на амплитуду ускоряемого поля, описанный в главе 4, отличается от эффекта на Рис. 2(g), где приведены зависимости амплитуды от различных значений массы ионов.
4. Автореферат также содержит некоторое количество грамматических ошибок и опечаток.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку автореферата. В целом, автореферат достаточно полно отражает содержание проделанной работы и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней. По моему мнению, Минаков В.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.9 «Физика плазмы» и 1.3.18 «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника».

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Научный сотрудник отдела сверхбыстрых процессов  
Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»  
кандидат физ.-мат. наук (специальность 01.04.08 «Физика плазмы»)

  
Голованов Антон Александрович

15 марта 2022 г.

Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, ИПФ РАН  
email: agolovanov@ipfran.ru  
телефон: +7(831)4164609

Подпись к.ф.-м.н. Голованова А.А. заверю

Ученый секретарь ИПФ РАН

Корюкин Игорь Валерьевич

