

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу А.А. Голованова  
«Сильно нелинейные кильватерные ускоряющие структуры в неоднородной плазме»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.08 – физика плазмы

Диссертационная работа А.А. Голованова посвящена плазменным методам ускорения, использование которых для создания компактных ускорителей частиц и источников излучения в труднодоступных диапазонах спектра активно изучается в последние десятилетия. Одним из основных методов улучшения свойств и контроля параметров плазменных ускорителей является использование плазмы с неоднородностью, в частности каналов в плазме, а также различных продольных градиентов концентрации. При этом в большей части теоретических работ в этой области рассматривается только однородная плазма.

В ходе исследования А.А. Головановым впервые была предложена теоретическая модель плазменной кильватерной волны в сильно нелинейном режиме в плазме поперечной неоднородностью, позволяющая достоверно описывать форму образующейся в данном режиме плазменной полости, а также распределение компонент электромагнитного поля в пространстве. Были рассмотрены важные эффекты, связанные с движением ускоряемых электронов в плазменной полости с полым каналом: нагрузка плазменной полости ускоряемым сгустком, бетатронные колебания электронов и связанное с ними бетатронное излучение. В частности, была продемонстрирована возможность ускорения электронного сгустка в однородном электрическом поле за счет подбора продольного профиля заряда сгустка. Также впервые была разработана модель плазменной полости в двумерном пространстве, позволяющая описать отличия в структуре кильватерной волны, наблюдаемые при проведении двумерного численного моделирования по сравнению с трехмерным. Кроме того, в рамках исследования были рассчитаны параметры ускоренных электронных сгустков, генерируемых лазерным импульсом с параметрами, соответствующими установке PEARL, в газовых ячейках с различными концентрациями. Расчет проводился путем численного моделирования лазерно-плазменного взаимодействия методом «частиц в ячейках», при этом профиль плазмы рассчитывался при помощи гидродинамического моделирования течения газа в газовой ячейке с использованием пакета OpenFOAM.

Исследование А.А. Голованова опирается на известные теоретические модели, широко используемые в физике плазмы, а также на ряд достоверных математических методов. Разработанные теоретические модели были подтверждены при помощи сравнения с результатами полномасштабного трехмерного численного моделирования методом «частиц в ячейках», основывающегося на базовых физических принципах: уравнениях Максвелла и релятивистских уравнениях движения.

Разработанные А.А. Головановым теоретические модели являются достаточно общими и применимыми к плазме с произвольным поперечным профилем. Они могут быть использованы при интерпретации результатов численных расчетов и экспериментов по плазменному ускорению в плазме с неоднородностью, а также для создания источников излучения на основе плазменных ускорителей. Кроме того, полученные в ходе исследований результаты были использованы для разработки газовой ячейки для проведения экспериментов по лазерно-плазменному ускорению на лазерном комплексе PEARL в ИПФ РАН, а также для анализа экспериментальных данных.

При выполнении работы А.А. Голованов продемонстрировал высокую работоспособность, достаточно развитую физическую интуицию и эрудицию, владение методами математического анализа и численного моделирования на высокопроизводительных компьютерных системах. В ходе выполнения данной работы А.А. Голованов разобрался с физическими принципами плазменных ускорителей, самостоятельно провел анализ современной литературы в данной области. Результаты исследований были представлены на конференциях всероссийского, а также международного уровня в России, Италии, США, Греции. Также по результатам было

