

# РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ СХЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАЗЕР-ПЛАЗМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОПУТСТВУЮЩИХ КООРДИНАТАХ

*Кутергин Д.Д.<sup>1,2</sup>, Дорожкина М.С.<sup>1,2</sup>, Спицын Р.И.<sup>1,2</sup>, Шалимова И.А.<sup>1,3</sup> и Туев П.В.<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>НГУ, Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup>ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия*

*<sup>3</sup>ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, Россия*

Рост вычислительных мощностей XXI века открывает новые горизонты для моделирования физических явлений, предоставляя возможности для глубокого анализа мелкомасштабных быстропротекающих процессов, которые не поддаются аналитическому описанию. Одним из таких процессов является лазер-плазменное ускорение.

Короткий лазерный импульс способен эффективно возбуждать плазменные волны, где продольные электрические поля могут достигать величин до 100 ГэВ/м. Энергия ускоренных электронов уже достигла 10 ГэВ при длине ускорения всего 10 см. Благодаря перспективам создания компактных высокоградиентных ускорителей, плазменные методы ускорения становятся всё более актуальными.

Характерные размеры, на которых происходят взаимодействия, составляют сотни микрометров, а времена составляют десятки фемтосекунд, что сильно осложняет экспериментальную диагностику этого явления. Аналитическому решению поддаются лишь некоторые задачи со множеством упрощающих приближений, которые во многих конфигурациях не применимы. Поэтому необходимо численное моделирование, однако моделирование из первых принципов требует значительных вычислительных ресурсов.

Моделирование плазмы в сопутствующих координатах, в совокупности с описанием лазерного импульса через его огибающую, позволяет на несколько порядков увеличить скорость расчетов. В работе реализована численная схема для согласованного моделирования эволюции лазерного драйвера и плазменной волны квазистатическим кодом в трёхмерной геометрии. Уравнение эволюции огибающей лазерного импульса решается при помощи продольно-поперечной прогонки, а влияние лазерного импульса на плазму описывается пондеромоторной силой.

Разработанная схема обладает хорошей устойчивостью, а результаты моделирования демонстрируют согласие с известными аналитическими решениями. Однако, при распространении лазерного импульса в глубь плазмы частота лазерного излучения изменяется, что накладывает ограничение на использование уравнения на огибающую лазерного импульса, где частота считается постоянной. Для некоторых режимов взаимодействия это ограничение оказывается существенным, поэтому в работе также предложена схема для точного решения уравнений Максвелла в сопутствующих координатах. Схема имеет второй порядок аппроксимации, что подтверждают проведённые эксперименты. В настоящее время ведутся работы по интеграции данной схемы в разрабатываемый нашей группой вычислительный код.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, П. В. Туев