

ОТЗЫВ

научного консультанта о диссертации Кучугова Павла Александровича «Математическое моделирование процессов при сжатии лазерных термоядерных мишеней», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа П.А. Кучугова содержит новые важные результаты во всех основных разделах математического моделирования применительно к исследованию задач физики высоких плотностей энергии лазер-плазменного взаимодействия – от построения физико-математических моделей процессов, создания алгоритмов расчёта и развития комплекса математических программ на их основе до проведения численного эксперимента. Основные разделы работы относятся к двум актуальным задачам – к задаче моделирования развития гидродинамических неустойчивостей в импульсном режиме воздействия внешнего источника энергии, в том числе, в мишенях лазерного термоядерного синтеза (ЛТС) и к задаче моделирования переноса энергии лазерно-ускоренными быстрыми электронами применительно к сжатию сферической мишени ЛТС при прямом облучении лазерными пучками, а также к формированию плазменных объектов с экстремальными термодинамическими и излучательными свойствами.

Исследования в обоих, указанных выше направлениях, объединены численными экспериментами, выполненными с использованием разработанного автором комплекса математических программ расчёта гидродинамики импульсной неравновесной плазмы, в одномерной, двумерной и трёхмерной геометриях PM^2 . В качестве основы программного комплекса использован подход с частичным осреднением уравнения Навье-Стокса. Полная система уравнений включает также расчёт переноса энергии лазерно-ускоренными быстрыми электронами, переноса и поглощения лазерного излучения в приближении геометрической оптики, переноса собственного излучения плазмы в условиях различной оптической толщины последней, а также расчёт уравнения состояния вещества.

Мои консультации по подготовке диссертационной работы П.А. Кучуговым относились к разделу работы, посвящённому физике переноса энергии лазерно-ускоренными быстрыми электронами в задачах сжатия мишеней ЛТС и развития методов создания плазменных объектов с экстремальными свойствами, составляющих предмет интенсивных исследований в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН.

Для реализации алгоритма расчёта переноса энергии быстрыми электронами автор диссертации в значительной мере дополнил и обобщил модель тормозной способности плазмы при произвольной энергии быстрых электронов. Впервые получены аналитические результаты для длины распространения быстрых электронов в плазме с учётом их рассеяния на ионах плазмы и в самосогласованном поле разделения зарядов на её границах. Тормозная способность плазмы по отношению к релятивистским электронам впервые дополнена омической составляющей, обусловленной обратным током тепловых электронов. На основе разработанной модели тормозной способности установлен эффект снижения нагрева лазерно-ускоренными электронами центральной части мишени ЛТС, препятствующего её сжатию, за счёт того, что только малая часть (около 10%) этих частиц, рождающихся в периферийной части мишени и отражающихся в самосогласованном поле на её границе, имеют возможность попасть в сжимаемую часть мишени (эффект «блуждания»). Ещё одним новым результатом стало обоснование возможности создания плазменных объектов с экстремальными термодинамическими и излучательными свойствами, за счёт нагрева лазерно-ускоренными электронами в процессе их

многократного пролёта в мишенях с размерами много меньшими длины пробега быстрых электронов (мишени с ограниченной массой).

В численных расчётах: впервые установлены верхние пределы для доли лазерной энергии, которая трансформируется в энергию быстрых электронов – около 1 % и энергии электронов – около 50 кэВ, допустимые для мишени ЛТС, предназначенной для зажигания при многопучковом облучении лазерным импульсом с энергией около 2 МДж; впервые обоснована возможность генерации ударных волн с давлением за фронтом, превышающим 1 Гбар, при нагреве вещества пучком релятивистских быстрых электронов, ускоренных под действием субнаносекундного лазерного импульса с энергией около 10 кДж; впервые обоснована возможность создания мощного источника рентгеновского излучения с интенсивностью 10^{17} Вт/см², а также мощного источника нейтронного излучения с удельным (на один Дж лазерной энергии) нейтронным выходом 10^8 - 10^9 частиц/Дж при нагреве мишени с ограниченной массой из ДТ-льда пучком релятивистских быстрых электронов, ускоренных в поле пикосекундного лазерного импульса с энергией 10 кДж.

Диссертационная работа П.А. Кучугова представляет собой законченный научный труд, в котором получены новые научные результаты в области численного моделирования и теоретической физики. На основании этих результатов сформированы новые научные направления в области многомерного моделирования гидродинамики импульсной плазмы и переноса энергии лазерно-ускоренными быстрыми электронами в веществе. По результатам диссертационной работы опубликованы 15 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК, в том числе 6 статей в журналах, входящих в первый квартиль списка Web of Science. Результаты работы неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, посвящённых методам численного моделирования, физике плазмы и лазерному термоядерному синтезу.

П.А. Кучугов является одним из ведущих специалистов в области численного моделирования сложных гидродинамических течений импульсной плазмы и взаимодействия лазерного излучения с веществом. Он участвовал в качестве ответственного исполнителя в 3-х грантах РФФ, участвовал и участвует в качестве ответственного исполнителя ряда НИР, выполняемых в интересах федеральных ядерных центров РФЯЦ-ВНИИЭФ и РФЯЦ-ВНИИТФ.

Считаю, что работа П.А. Кучугова «Математическое моделирование процессов при сжатии лазерных термоядерных мишеней» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а П.А Кучугов заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук.

Научный консультант

д. ф.-м. н, профессор, и.о. руководителя
Сектора теории лазерной плазмы Отделения
квантовой радиофизики им. Н.Г. Басова
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

С.Ю. Гуськов

Подпись С.Ю. Гуськова заверяю

Учёный секретарь, заместитель директора по
научной работе Физического института им.
П.Н. Лебедева РАН, к. ф.-м. н.

А.В. Колобов



11.11.2025

11.11.2025