

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тимофеева Игоря Валериевича  
«Генерация терагерцового излучения при коллективных взаимодействиях электронных и лазерных пучков с плазмой»,  
представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук  
по специальности 01.04.08 — «Физика плазмы».

Диссертационная работа И.В. Тимофеева посвящена исследованию механизмов генерации электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот в результате взаимодействия электронных пучков и лазерных импульсов с бесстолкновительной плазмой на основе созданной аналитической теории и полномасштабного численного моделирования. В настоящее время разработка источников терагерцового излучения различной мощности и режимов работы является одной из важнейших задач фундаментальной физики и многочисленных приложений, к которым относятся создание новых систем связи, мониторинг окружающей среды, диагностика различных сред, включая биологические объекты. Помимо традиционных источников ТГц излучения с помощью методов вакуумной электроники (гиротроны, лазеры на свободных электронах) существует, рассмотренная в диссертационной работе, возможность создания новых источников высокочастотных электромагнитных полей в процессе взаимодействия электронных и лазерных пучков в плазме, когда частота излучения, привязанная к гармоникам плазменной частоты, определяется ее плотностью, а мощность может достигать высоких значений за счёт поддержания в плазме больших электрических полей. Созданная Тимофеевым И.В. теоретическая модель генерации терагерцового излучения при коллективных взаимодействиях электронных пучков с плазмой позволила найти новые схемы генерации высокочастотных электромагнитных полей гигаваттной мощности в режимах плазменной антенны и столкновения встречных электронных пучков, а также уточнила возможности их практической реализации для конвертации существенной части энергии входящего пучка в излучение. Численное моделирование нелинейной стадии пучково-плазменного взаимодействия проведено на основе двумерной кинетической PIC модели, адекватно учитывающей основные закономерности рассматриваемых процессов и подтверждающей результаты теории.

Полученные впервые решения задачи Клеммоу-Догерти и проведенный анализ зависимости инкремента модуляционной неустойчивости плазменной ленгмюровской волны от хвоста надтепловых электронов, а так же обнаружение нового режима прозрачности плазмы подтверждают научную новизну и значимость работы. Представленные в диссертации результаты дают теоретическую интерпретацию процессов, происходящих в условиях лабораторных экспериментов на установке ГОЛЗ, где наблюдается генерация суб-терагерцового излучения в пучково-плазменной системе. Новый способ генерации когерентного терагерцового излучения за счёт прямого нелинейного взаимодействия встречных кильватерных волн, возбуждаемых в плазме фемтосекундными лазерными импульсами, представляет несомненный интерес для создания новых источников ТГц излучения в десятки мДж гигаваттной пиковой мощности.

В автореферате есть незначительные недостатки, затрудняющие чтение. Так, на Рис. 1 на фазовой плоскости пучка ( $x, px$ ) приведены сплошная, пунктирная и штрихпунктирная линии, но нет указаний чему они соответствуют. На этом же рисунке значения координат оси  $x$  выражены в разных единицах:  $\Delta x$  (верхний ряд),  $c/\omega_p$  (нижние ряды) и не указано, что такое  $\Delta x$  и  $\Delta y$  (для оси  $y$ ) и чему они равны. Поскольку результаты численного моделирования получены применительно к условиям лабораторных экспериментов, то такие характерные параметры пучково-плазменной среды как плотность пучка и плазмы, значение магнитного поля, релятивистский параметр желательно было бы привести не только для параметров PIC моделирования схемы со встречными лазерными пучками (Рис. 3).

Данные замечания не влияют на безусловно положительную оценку диссертационной работы, которая является важным шагом в развитии теории пучково-плазменного взаимодействия и методов генерации высокочастотного электромагнитного излучения коллективной природы. Совокупность результатов, полученных на сочетании высокого уровня как аналитических, так и численных методов решения решаемой проблемы, относится к разряду научных достижений.

Диссертация Тимофеева И.В. на тему «Генерация терагерцового излучения при коллективных взаимодействиях электронных и лазерных пучков с плазмой» является законченной научно-исследовательской работой, удовлетворяющей всем требованиям ВАК, предъявляемых к докторским диссертациям по специальности 01.04.08 — «Физика плазмы», а ее автор - Игорь Валериевич Тимофеев безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Д.ф.-м.н.

Главный научный сотрудник  
научной группы 16-11-10028  
Института вычислительной математики  
и математической геофизики СОРАН  
630090, Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 6  
e-mail: gdudnikova@gmail.com

Г.И. Дудникова



Подпись удостоверяю  
и.о. Ученого секретаря  
Института вычислительной математики  
и математической геофизики СОРАН  
д.ф.-м.н.



И.М. Куликов