

**СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖУЩЕГОСЯ В ГАЗЕ
ОПТИЧЕСКОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО РАЗРЯДА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
В АЭРОФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ.
ПРОЕКТ № 152**

Координатор: д-р физ.-мат. наук Пономаренко А. Г.

Исполнители: ИЛФ, ИТПМ СО РАН

Исследован оптический пульсирующий разряд (ОПР), зажигаемый в движущемся фокусе луча импульсно-периодического лазера. Изучены плазменные и газодинамические возмущения, генерируемые ОПР и взаимодействующие на основе механизма объединения волн (МОВ).

Разработана методика расчета и создания зеркально-линзовых оптических систем перемещения фокуса, которые обеспечивают околодифракционное качество фокусировки, а также стабильность энергии лазерных искр и скорости перемещения фокуса.

Впервые с применением импульсно-периодического CO_2 -лазера высокой импульсной (до 1 МВт) и средней (до 2,5 кВт) мощностью создан ОПР (рис. 1), движущийся со скоростями, близкими к скорости звука в газе.

В диапазоне частот следования импульсов $12 \div 50$ кГц определены энергетические характеристики и пороги зажигания ОПР в аргоне и смесях 0,75 гелия + 0,25 аргона при атмосферном давлении.

Предложен механизм объединения волн, создаваемых периодическим источником импульсных возмущений среды, проявляющийся в преобразовании энергии периодических ударных волн и формировании квазистационарной волны давления (в газе) или магнитного поля в плазме с магнитным полем. Теоретически найдены безразмерные параметры подобия и критерии проявления МОВ для неподвижного и движущегося ОПР, применимые в разных газах и подтвержденные численным моделированием (энергии от 1 мДж до 1 кДж) и экспериментально.

Разработаны высокоскоростные акустические (рис. 2 и 3, а) и теневые (рис. 3, б) методы регистрации ударных волн и визуализации оптических неоднородностей генерируемых ОПР, а также методика томографической реконструкции коэффициентов эмиссии плазмы [8], позволяющие исследовать эффекты взаимодействия ОПР с газом, структуру и динамику температуры и ионизационного состава плазмы.

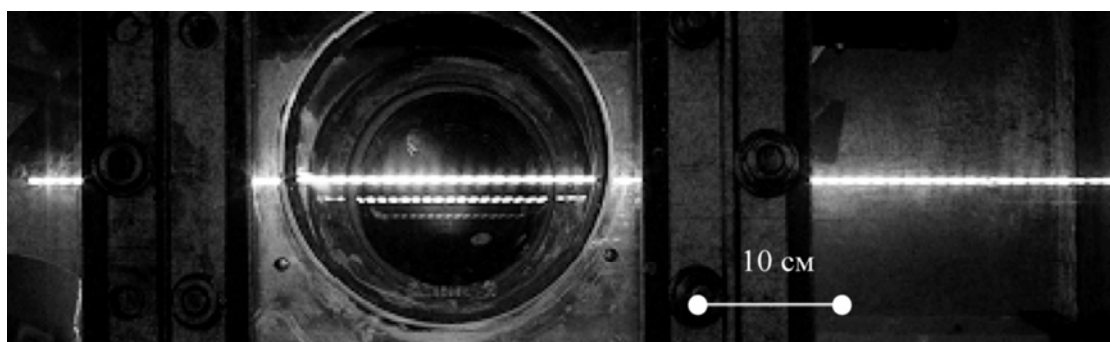


Рис. 1. Фото движущегося ОПР в аргоне.

Fig. 1. Photo moving optical pulsating discharge (OPD) in argon.

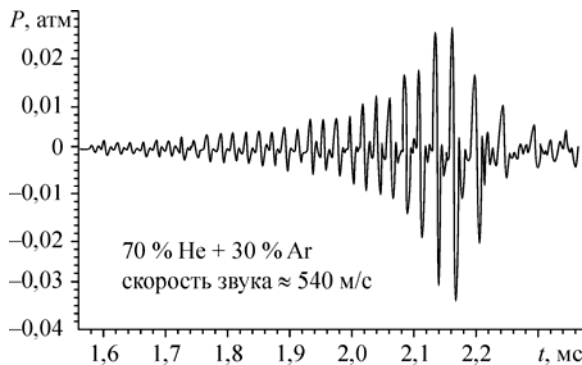


Рис. 2. Возмущения давления, генерируемые ОПР, движущимся со скоростью 260 м/с. Максимальный сигнал при прохождении ОПР вблизи ($\sim 2,5$ см) акустического датчика.

Fig. 2. Pressure disturbance generating by moving with 260 m/s OPD. Maximum signal is during transition OPD near (~ 2.5 cm) acoustic detector.

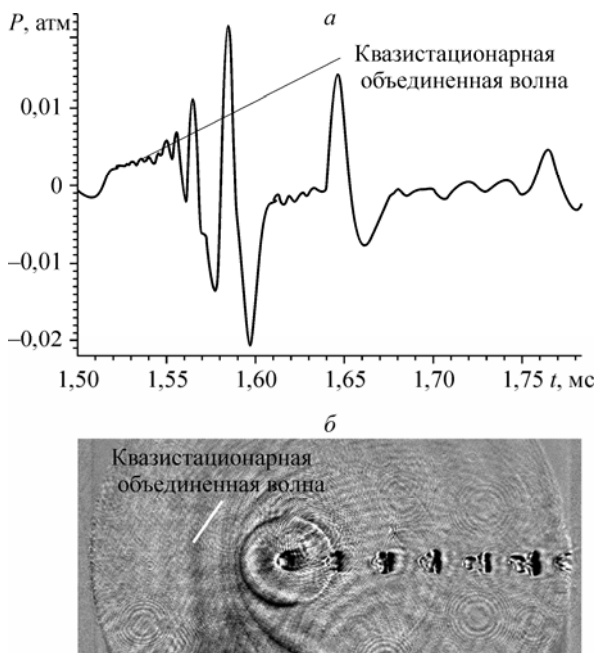


Рис. 3. Возмущение давления (а) и теневая фоторегистрация (б) волн, генерируемых ОПР, движущимся со скоростью 310 м/с в аргоне (скорость звука ~ 325 м/с).

Fig. 3. Pressure disturbance (a) and shadow photographic registration (b) waves, generating by moving with 310 m/s in argon OPD (sonic speed ~ 325 m/s).

Проведен цикл экспериментальных исследований взаимодействия неподвижного ОПР со скоростными (до 400 м/с) потоками газов и движущегося ОПР (в диапазоне скоростей $0 \div 320$ м/с) с покоящимся газом, в результате которых установлено:

при повышении частоты следования лазерных импульсов след ОПР переходит от структуры изолированных плазменных очагов к неразрывному каналу пониженной плотности с возникновением эффекта ускорения лазерной плазмы до $\sim 2,5$ км/с;

в экспериментах с неподвижным ОПР выявлен новый эффект образования вихреобразных возмущений, распространяющихся преимущественно вдоль луча (горизонтально);

при приближении скорости движения ОПР к скорости звука в газе эффект Доплера (см. рис. 2) уступает действию МОВ, перед ОПР формируется квазистационарная объединенная волна (см. рис. 3), длина которой много больше длины отдельных ударных волн;

при зажигании ОПР периодическими пакетами лазерных импульсов МОВ формирует цуг объединенных волн на низкой частоте следования пакетов с высокой эффективностью ($\sim 25\%$) преобразования энергии ОПР.

На основе экспериментальных данных, теоретических и численных расчетов определены следующие перспективные направления применения ОПР и МОВ в аэрофизике и для решения актуальных прикладных задач:

создание лазерных воздушно-реактивных двигателей на основе ОПР и МОВ, которые позволяют в несколько раз увеличить тягу и эффективность, управлять траекторией полета;

создание уникальных точечных источников инфра- и ультразвуковых полей с управляемым спектром;

для лазерных плазмохимических технологий, а также имитации полета ракеты представляют интерес плазменная струя и ударная волна, создаваемые движущимся ОПР;

в физике взрывных процессов МОВ позволяет создавать протяженные зоны высокого давления в выделенном направлении;

для задач моделирования космических процессов получены предварительные результаты, из которых следует, что ОПР и МОВ действуют и в плазме с магнитным полем с

формированием низкочастотной волны магнитного поля.

Кроме СО РАН работы по этому тематическому направлению поддерживались РФФИ

(гранты № 03-02-17716 и № 03-02-17712) и в части смежных задач выполнялись совместно с ИОФ РАН и ИНХ СО РАН.

Основные публикации

1. Грачев Г. Н., Пономаренко А. Г., Смирнов А. Л., Стаценко П. А., Тищенко В. Н., Трашкеев С. И. Движущийся в газе оптический пульсирующий разряд// Квантовая электроника. 2005. Т. 35, № 11. С. 973—975.
2. Тищенко В. Н., Шайхисламов И. Ф. Квазистационарные волны магнитного и электрического поля, создаваемые пульсирующим источником ударных волн// Там же. 2006. Т. 36, № 1.
3. Тищенко В. Н. Эффект Доплера для оптического разряда, источника ударных волн// Там же. 2005. Т. 35, № 11. С. 1015—1018.
4. Тищенко В. Н., Аполлонов В. В., Грачев Г. Н., Гулидов А. И., Запрягаев В. И., Меньшиков Я. Г., Смирнов А. Л., Соболев А. В. Взаимодействие оптического пульсирующего разряда с газом: условия стабильной генерации и объединения ударных волн// Там же. 2004. Т. 34, № 10. С. 941—947.
5. Аполлонов В. В., Тищенко В. Н. Механизм объединения ударных волн в лазерном воздушно-реактивном двигателе// Там же. 2004. Т. 34, № 12. С. 1143—1146.