

## ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 533.9.03+537.523.4

DOI: 10.17223/00213411/64/3/85

*С.Ф. БАЛАНДИН<sup>1</sup>, В.А. ДОНЧЕНКО<sup>2</sup>, В.Ф. МЫШКИН<sup>3</sup>, В.А. ХАН<sup>1,3</sup>***ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КАНАЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Рассмотрены механизмы генерации электрических и магнитных полей при распространении микросекундных импульсов СО<sub>2</sub>-лазера в атмосфере на длинных трассах. Обоснован выбранный для исследований диапазон излучаемых волн. Оценена мощность источника, необходимая для реализации допробойного и пробойного режимов взаимодействия излучения со средой. Исследована зависимость наблюдаемых сигналов от условий распространения излучения. Проведено сравнение теоретических оценок и результатов натуральных экспериментов.

*Ключевые слова:* лазерное излучение, оптический пробой, плазма, диполь, импульс, ионизация, интенсивность, частота колебаний.

Среди актуальных проблем нелинейной оптики значительное место занимает лучевая энергетика, связанная с трансформацией световой энергии в электрическую. Уже в первых работах [1], посвященных исследованию оптического пробоя воздуха, сообщалось о наблюдении электрического дипольного момента лазерной искры. Вскоре в экспериментах с лазерной искрой [2] и при лазерном облучении твердой мишени [3], было исследовано распределение магнитного поля вблизи плазмы. Отметим работы, в которых также исследовались электрические и магнитные поля при оптическом пробое воздуха [4–9]. В указанных работах эксперименты проводились при различных параметрах возбуждающего лазерного излучения (интенсивности, длительности импульсов лазерного излучения или продолжительности лазерного воздействия). В [4] авторы сообщают об обнаружении собственного электрического дипольного момента лазерной искры, поджигаемой наносекундным импульсом Nd-лазера. Подобный результат был получен и в работе [8] при пробое воздуха излучением Nd-лазера с интенсивностью  $I = 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>.

В исследованиях низкопорогового пробоя воздуха на проводящей мишени с использованием излучения микросекундного СО<sub>2</sub>-лазера с интенсивностью  $I = 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> были зарегистрированы скачки потенциала на плазменном образовании при действии переднего фронта импульса [5–7], который соответствовал диполю противоположного направления по сравнению с наблюдавшимся в предыдущих работах. Существование диполя при действии переднего фронта лазерного импульса подтверждается и другими исследованиями магнитных полей лазерной искры, поджигаемой тандемными импульсами СО<sub>2</sub>-лазера [10]. Таким образом, вопрос о конфигурации зарядов в плазме и ее эволюции в зависимости от параметров греющего излучения до настоящего времени остается открытым. Что касается непосредственно экспериментов в реальной атмосфере, то известна лишь одна работа, в которой были зарегистрированы электрические и магнитные поля, как в условиях пробоя, так и в допробойном режиме [9]. Известны также результаты исследований лазерного пробоя, в которых регистрировали терагерцовое излучение [11–13].

Как показали эксперименты, проведенные в реальной атмосфере на длинных трассах, частотный спектр регистрируемых сигналов находится в диапазоне 0.1–1.0 МГц, а их длительность составляет 50–100 мкс. При этом амплитуда сигналов в условиях пробоя аэрозольной атмосферы примерно на порядок превышает амплитуду сигнала электромагнитного излучения, формирующегося в допробойном режиме распространения лучевой энергии.

Цель работы – анализ и физическая интерпретация данных, полученных в натуральных лазерных экспериментах [9], с использованием имеющихся многочисленных результатов исследований в области ионизации атмосферы.

В условиях оптического пробоя существенная неоднородность показателя преломления появляется в центре очага пробоя, где развиваются высокие давления и степень ионизации близка к 100%, и на фронте распространения ударной волны. Частоты плазменных колебаний в центре очага пробоя при концентрации электронов  $10^{17}$ – $10^{19}$  см<sup>-3</sup> соответствуют ИК-области спектра. При

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>