

## ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 533.9, 533.9.082.5

DOI: 10.17223/00213411/64/9/42

ИЗЛУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛ АЗОТА ПРИ ОСТРОЙ ФОКУСИРОВКЕ  
ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ВОЗДУХЕ\*А.А. Ильин<sup>1,2</sup>, К.А. Шмирко<sup>1,2</sup>, С.С. Голик<sup>1,2</sup>, Д.Ю. Проценко<sup>2,3</sup><sup>1</sup> Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия<sup>3</sup> Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия

Представлена численная модель, описывающая динамику плотности частиц плазмы при филаментации фемтосекундного излучения в воздухе. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Исследованы процессы, приводящие к накачке излучательных уровней  $N_2$  и  $N_2^+$ . Модель предсказывает резкое падение электронной температуры и плотности в течение 1 нс. Для первой положительной системы азота наблюдается превышение населенности верхнего излучательного уровня над населенностью нижнего в течение 550 пс.

**Ключевые слова:** филамент, излучение молекул азота, фемтосекундное лазерное излучение.

## Введение

Филаментация фемтосекундного лазерного излучения в воздухе сопровождается излучением молекул азота, придающим синий цвет области филаментации. Самые интенсивные линии принадлежат второй положительной ( $2^+$ )  $N_2(C^3\Pi_u - B^3\Pi_g)$  и первой отрицательной ( $1^-$ )  $N_2^+(B^2\Sigma_u^+ - X^2\Sigma_g^+)$  системам азота. В последнее время интерес к излучению молекул азота при филаментации вызван стимулированным излучением на вышеописанных переходах и созданием лазера, инициируемого филаментацией в атмосфере [1–5]. Для  $2^+$  системы стимулированное излучение наблюдается на  $\lambda = 337$  и  $357.6$  нм, для  $1^-$  системы – на  $\lambda = 358.2, 388.4, 391.2, 427.5$  и  $470.9$  нм [2, 5]. Стимулированное излучение также наблюдалось для  $1^+$  системы  $N_2(B^3\Pi_g - A^3\Sigma_u^+)$  на  $\lambda = 748.4$  и  $760.6$  нм [5, 6]. Временные характеристики излучения линий  $2^+$  и  $1^-$  систем при филаментации в воздухе изучены относительно слабо. Отметим работы [2, 7, 8], в которых продолжительность излучения  $1^-$  системы варьируется в диапазоне примерно от 100 до 500 пс,  $2^+$  система наблюдается на временном интервале примерно до 1 нс. По-видимому, длительность излучения систем азота определяется как процессами в плазме филаментов, так и параметрами эксперимента. В настоящий момент нет ясности относительно процессов накачки возбужденных уровней  $N_2^+(B)$  и  $N_2(C)$  при филаментации линейно-поляризованным фемтосекундным лазерным излучением. Численное моделирование работы [9] показало перераспределение населенности уровней иона азота  $N_2^+(B, A, X)$  в результате Раби осцилляций при  $I > 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>, которые приводят к инверсии населенностей между уровнями  $N_2^+(B)$  и  $N_2^+(X)$ , при этом уровень  $N_2^+(A)$  является резервуаром. В работе [10] предполагается, что выбитый в результате ионизации молекулы электрон ускоряется лазерным полем и возвращается к родительскому иону, в результате неупругого столкновения электрон занимает возбужденные уровни родительского иона. Однако оценки работы [9] опровергают эту возможность.

Стоит отметить, что во всех работах исследуется динамика процессов в плазме филаментов без учета реальной временной структуры лазерного излучения фемтосекундных лазерных комплексов. В работах [6, 11] показано, что усиленное спонтанное излучение (УСИ) регенеративного

\* Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FZNS-2020-0003 № 0657-2020-0003. Спектральные измерения выполнены на оборудовании ИАПУ ДВО РАН.

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>