Многофотонная ионизация воздуха при филаментации субпикосекундных УФ лазерных импульсов

В.Д. Зворыкин, А.А. Ионин, А.О. Левченко, Л.В. Селезнев, Д.В. Синицын, И.В. Сметанин, Н.Н. Устиновский, А.В. Шутов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия, [zvorykin@sci.lebedev.ru](mailto:zvorykin@sci.lebedev.ru)

При самофокусировке мощных ультракоротких импульсов (УКИ) лазерного излучения в атмосферном воздухе создаются слабоионизованные плазменные каналы-филаменты с характерной длиной в сотни метров, которые представляют интерес для управления протяженными высоковольтными разрядами и активной молниезащиты [1], создания плазменных волноводов для направленной транспортировки СВЧ-излучения [2] и накачки атмосферного лазера для лидарных применений [3]. Рефракция лазерного излучения в плазме филамента уравновешивает керровскую самофокусировку лазерного пучка [4], позволяя ему распространяться на большое расстояние «без дифракции».

Данная работа продолжает наши исследования эффекта филаментации на гибридной Ti:Sapphire/KrF лазерной системе ГАРПУН-МТВ [1]. Для УФ излучения с длиной волны 248 нм (энергия квантов ~5 эВ) и большой длительности импульсов *τ*~ 20 нс плотность фотоэлектронов в воздушной плазме квадратично зависела от лазерной интенсивности , что характерно для резонансно-усиленной многофотонной ионизации 2 + 1 (REMPI) молекул кислорода (потенциал ионизации *Ui*= 12,06 эВ), протекающей через резонансное 2-фотонное возбуждение промежуточного метастабильного ридбергеровского состояния молекулы. Для 100-фс УФ УКИ — наблюдалась кубическая зависимость , типичная для прямой 3-фотонной ионизации. Вместе с тем, теория REMPI в предельном когерентном случае предсказывает похожую зависимость, но от кумулятивной плотности энергии УКИ [1]. В настоящем исследовании показано, что для УКИ с длительностями фс реализуется прямая 3-фотонная ионизация кислорода. При фокусировке УКИ с пиковой мощностью до *P*~ 1 ГВт, превышающей критическую мощность филаментации (*Pcr*~ 0,1 ГВт для УФ излучения [4]) в диапазоне интенсивностей *I* = 5·1011 ÷ 2·1013 Вт/см2 наблюдался переход к нелинейному режиму распространения УКИ с образованием одиночного филамента. Наибольшая плотность электронов в филаменте составляла **см–3 и соответствовала сечению прямой 3-фотонной ионизации см6·с–1·Вт–3. Другие авторы сообщали ранее о величинах сечения, которые варьировались на 3 порядка. При свободном распространении УКИ с пиковой мощностью до *P*~ 0,2 ТВт (*P*≈ 2000·*Pcr*) и длительностью *τ ~*1 пс вдоль протяженной трассы (~ 100 м) возникало несколько сотен филамент, с интенсивностью в каждой *I* ≈ 2·1011 Вт/см2. Плотность электронов в филаментах  см–3 — была обусловлена резонансно-усиленной фотоионизацией 2 + 1 REMPI кислорода. Для длинных УФ импульсов с *τ*~ 20 нс впервые измерена спектральная зависимость REMPI в диапазоне перестройки KrF лазера ~ 1 нм.

Работа поддержана грантами РФФИ № 15-02-09410 и 14-22-02021.

Литература

1. Зворыкин В.Д., Ионин А.А., Левченко А.О. и др. Физика плазмы, 2015, **41**, 125.
2. Zvorykin V.D., Ionin A.A., Levchenko A.O. et al. Applied Optics, 2014, **53**, 131.
3. Penano J., Sprangle P., Gordon D. et al., J. Appl. Phys., 2012, **111**, 033105.
4. Couairon A. and Mysyrowicz A., Phys. Rep., 2007, **441**, 47.