

Visualization of Laser Induced Streams in Liquids Depending on Focusing Conditions of Pulse-Periodic Femtosecond Laser Radiation

S.Yu. Lavrentyev, N.G. Solovyov, A.N. Shemyakin, M.Yu. Yakimov

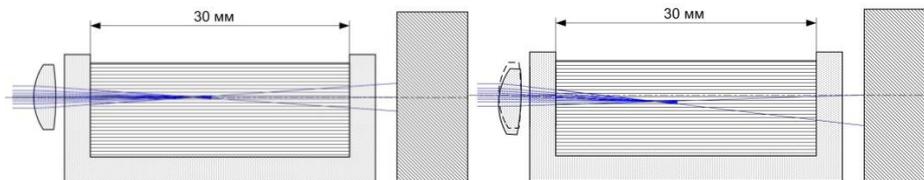
*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS
Moscow, 119526, Russia*

1993serj@gmail.com

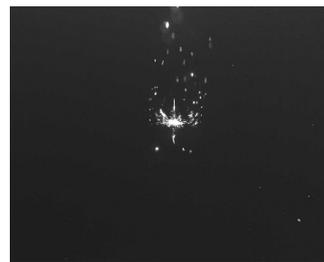
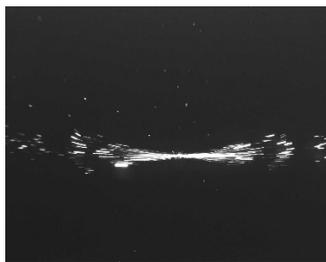
Abstract

This publication presents experimentally obtained video files of visualization of quasi-stationary streams induced in ordinary water, heavy water, and in carbon tetrachloride under the action of focused radiation of periodic pulse femtosecond laser. The streams were visualized by schlieren method and by laser sheet illumination of gas bubbles, and were observed under various conditions of laser radiation focusing. A detailed description of the experimental conditions and the results obtained, characteristics of the liquids used, and some discussions on the results are published in paper [1].

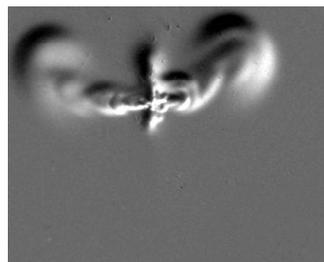
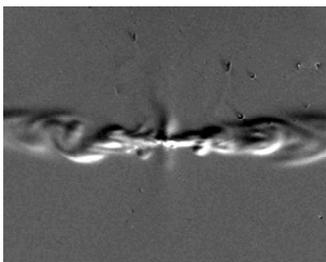
Keywords: laser-induced streams in liquids, femtosecond laser, laser beam self-focusing, multiphoton dissociation, laser beam interaction with liquids, laser processing.



Schemes of precise focusing (left) and focusing with artificial astigmatism (right) of laser radiation in a cuvette with a liquid



The streams in water visualized by laser sheet illumination of gas bubbles: precise focusing (left) and artificial astigmatism (right)



The flows in carbon tetrachloride visualized by schlieren technique: precise focusing (left) and artificial astigmatism (right)

УДК 621.373.826; 535.21; 532.52

Визуализация лазерно-индуцированных потоков в жидкостях в зависимости от условий фокусировки излучения фемтосекундного лазера

С. Ю. Лаврентьев, Н. Г. Соловьев, А. Н. Шемякин, М. Ю. Якимов

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,
Россия, Москва, 119526, проспект Вернадского 101-1*

1993serj@gmail.com

Аннотация

В данной публикации представлены полученные экспериментально видеофайлы визуализации квазистационарных потоков, образующихся в обычной и тяжелой воде, а также в тетрахлорметане под действием сфокусированного излучения импульсно-периодического фемтосекундного лазера. Потоки визуализировались теневым методом, а также путем лазерной подсветки газовых пузырьков, и наблюдались при различных условиях фокусировки лазерного излучения. Подробное описание условий и результатов проведенных экспериментов, характеристики жидкостей, а также обсуждение полученных результатов опубликованы в работе [1].

Ключевые слова: лазерно-индуцированные потоки в жидкостях, самофокусировка, многофотонная диссоциация, фемтосекундный лазер, лазерные технологии.

Описание видео

Представленные в данной работе видео демонстрируют процесс формирования квазистационарных потоков в жидкостях при воздействии излучения импульсно-периодического фемтосекундного лазера с момента подачи излучения до момента установления той или иной конфигурации течений. Лазерное излучение с помощью линз с фокусным расстоянием $f = 13.2$ мм или $f = 33.3$ мм фокусировалось в кварцевой кювете с жидкостью (рис. 1) точно или с искусственно введенным астигматизмом.

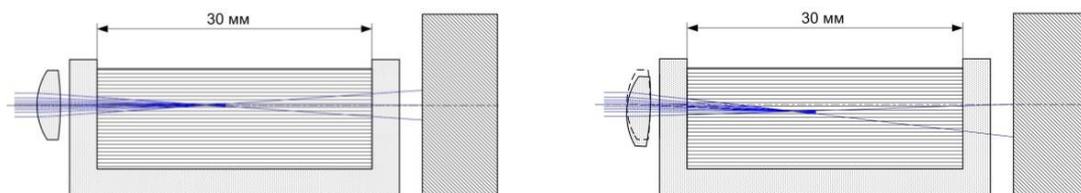


Рис. 1. Схемы точной фокусировки лазерного излучения (слева) и фокусировки с искусственным астигматизмом (справа) в кювете с жидкостью. Рисунок взят из работы [1], рис. 1.

Параметры эксперимента:

- длина волны излучения $\lambda = 1.023$ мкм;
- длительность импульса $\tau = 450$ фс;
- энергия в импульсе $E_p = 13, 250$ мкДж;
- частота следования импульсов $\nu_r = 1.67 \div 10$ кГц.

Визуализация потоков осуществлялась методом подсветки лазерным листом газовых пузырьков, образующихся в зоне взаимодействия лазерного излучения с жидкостью (в случае дистиллированной обычной воды и тяжелой воды), а также шпирен-методом (в случае тетрахлорметана).

В случае точной фокусировки лазерного излучения при малой энергии в импульсе ($E_p < 20$ мкДж) образуются потоки вдоль оси лазерного луча навстречу лучу и в противоположном направлении.

W_13μJ_focus – потоки в дистиллированной воде, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, точная фокусировка (ось линзы совпадает с лазерным лучом), воспроизведение замедлено в 2 раза, размер кадра 13.5×10.8 мм²;

NW_13μJ_focus – потоки в тяжелой воде, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, точная фокусировка, воспроизведение замедлено в 2 раза, размер кадра 13.5×10.8 мм²;

CCl_13μJ_focus – потоки в тетрахлорметане, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, точная фокусировка, воспроизведение замедлено в 4 раза, размер кадра 14.2×11.4 мм².

При введении искусственного астигматизма за счет смещения центра линзы относительно оси луча лазера на расстояние $d = 0.5 \div 2$ мм и наклона линзы относительно оси на угол $\alpha = 1^\circ \div 4.5^\circ$ потоки вдоль оси лазерного луча ослабевают, и одновременно появляются потоки в перпендикулярном лазерному лучу направлении. Поперечные потоки возникают вследствие взаимодействия осевых потоков, испускаемых навстречу друг другу из двух разделенных вдоль оси луча перетяжек лазерного луча, образующихся в результате введения астигматизма.

W_13μJ_astigmatism – потоки в обычной воде, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, смещение линзы $d = 1.5$ мм, наклон линзы $\alpha = 3^\circ$, воспроизведение замедлено в 2 раза, размер кадра 13.5×10.8 мм²;

NW_13μJ_astigmatism – потоки в тяжелой воде, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, $d = 0.5$ мм, $\alpha = 1^\circ$, воспроизведение замедлено в 2 раза, размер кадра 13.5×10.8 мм²;

CCl_13μJ_astigmatism1 – потоки в тетрахлорметане, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, $d = 1$ мм, $\alpha = 2^\circ$, воспроизведение замедлено в 4 раза, размер кадра 14.2×11.4 мм²;

CCl_13μJ_astigmatism2 – потоки в тетрахлорметане, $f = 13.2$ мм, $E_p = 13$ мкДж, $\nu_r = 5$ кГц, $d = 2$ мм, $\alpha = 4.5^\circ$, воспроизведение замедлено в 4 раза, размер кадра 14.2×11.4 мм².

При большой энергии импульсов в условиях самофокусировки наблюдается сложная структура потоков, которая также объясняется взаимодействием направленных навстречу друг другу струй, индуцируемых соседними узлами с высокой интенсивностью излучения, возникающими вдоль области самофокусировки лазерного луча.

CCl_250μJ_self-focusing – потоки в тетрахлорметане, $f = 33.3$ мм, $E_p = 250$ мкДж, $\nu_r = 1.67$ кГц, точная фокусировка (наблюдается самофокусировка), воспроизведение замедлено в 2 раза, размер кадра 20.6×11.5 мм².

Благодарности и ссылки на гранты

Работа выполнена частично по теме государственного задания (№ гос. рег. АААА-А17-117021310370-2) и проекта РФФИ 18-01-00534 А.

Литература

1. Лаврентьев С. Ю., Соловьев Н. Г., Шемякин А. Н., Якимов М. Ю., “Лазерно-индуцированные потоки в жидкостях в зависимости от условий фокусировки излучения фемтосекундного лазера,” *Физико-химическая кинетика в газовой динамике*. Т. 20, вып. 3. 2019.

References

1. Lavrentyev, S. Yu., Solovyov, N. G., Shemyakin, A. N., Yakimov, M. Yu., “Laser-Induced Streams in Liquids Depending on Focusing Conditions of Pulse-Periodic Femtosecond Laser Radiation,” *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*, Vol. 20, No. 3, 2019.

Статья поступила в редакцию 18 января 2021 г.