

## Составная оптико-конвективная ловушка

А.В. Коробцов<sup>1</sup>, С.П. Котова<sup>1</sup>, Н.Н. Лосевский<sup>1</sup>, А.М. Майорова<sup>1</sup>, С.А. Самагин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Ново-Садовая, 221, Самара, Россия, 443100

### Аннотация

Представлены результаты по формированию комбинированной оптико-конвективной ловушки с использованием двух длин волн. Конвекционные потоки формировались с помощью лазера на длине волны 1,08 мкм и инфракрасного светофильтра на дне кюветы с образцами, поглощающего излучение на данной длине волны. DPSS лазер на длине волны 0,53 мкм и оптический модулятор использовались для формирования оптической составляющей ловушки: вихревого оптического пучка. Проведены эксперименты по оптической манипуляции прозрачными и поглощающими микрообъектами сформированными ловушками.

### Ключевые слова

Оптическая манипуляция, конвекционные потоки, вихревые пучки, пространственный модулятор света

## 1. Введение

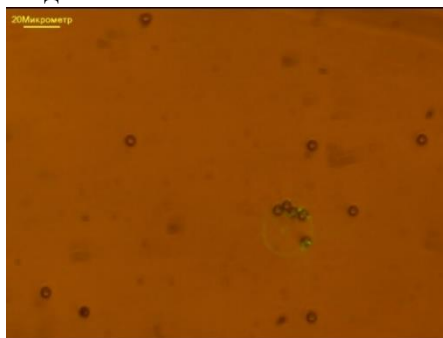
В последнее время возрос интерес к ловушкам, в которых остросфокусированный лазерный пучок используется не только для формирования оптической силы, но и для создания в среде градиента температуры, формирующего в свою очередь конвекционные потоки [1-4]. Микро- и нанообъекты в таких ловушках переносятся (захватываются) возникающими потоками жидкости, поэтому можно использовать заведомо меньшие мощности (от десятых долей до нескольких десятков милливатт) по сравнению с традиционными оптическими ловушками. Конвекционные оптические ловушки характеризуются возможностью довольно быстрого перемещения объектов (в том числе поглощающих) с относительно больших расстояний, и как следствие, простотой организации областей свободных от микрочастиц и областей с их локальной повышенной концентрацией. Особый интерес представляют вихревые конвекционные ловушки. Такие ловушки были реализованы для пучков с распределением интенсивности в виде колец [4, 5] и спиралей Архимеда [5]. К недостаткам конвекционных оптических ловушек (как точечных, так и вихревых) можно отнести сложность управления захватываемыми объектами за счет варьирования мощности падающего излучения. Это связано с тем, что при определенных значениях мощности частицы уносятся восходящими потоками жидкости из поля действия лазерного пучка, не достигая ее центра. Проблему можно решить, разделив оптическую и конвекционную составляющие за счет использования двух лазерных источников с разными длинами волн излучения. В настоящей статье описаны эксперименты по реализации подобной ловушки.

## 2. Эксперименты по микроманипуляции составной ловушкой

Для формирования комбинированной оптической ловушки использовались два лазера. Лазер с длиной волны излучения 1.08 мкм (суммарная мощность в рабочей зоне от 20 мвт до 50 мвт) и инфракрасный светофильтр на дне кюветы с образцами обеспечивали градиент температуры и создание конвективных потоков жидкости. Оптическая составляющая ловушки формировалась за счет использования в качестве источника излучения DPSS лазера с длиной волны излучения 0,53 мкм (суммарная мощность излучения в рабочей зоне варьировалась от 10 мвт до 100 мвт). Вихревой оптический пучок с заданным распределением интенсивности создавался с помощью пространственного модулятора света HOLOEYE PLUTO-2-NIR-011 и

фокусировался микрообъективом (40x) в заданную плоскость. Для введения в микроскоп одновременно двух пучков на разных длинах волн методом 3D печати был сконструирован специальный адаптер. В качестве образцов использовались как прозрачные микрочастицы (сферы латекса), так и поглощающие (микрочастицы серебра).

На рисунке 1 в качестве примера приведен кадр из эксперимента по манипуляции микрочастицами латекса диаметром 4 мкм комбинированной ловушкой на двух длинах волн. Мы можем наблюдать световое кольцо, сформированное излучением с длиной волны 0.53 мкм, с точечным пятном в центре, сформированным излучением на длине волны 1.08 мкм и визуализированным используемой видеокамерой. Видно, что частицы выстраиваются вдоль светового кольца. Кадр демонстрирует момент, когда за счет увеличения мощности (от 20 мВт до 50 мВт) инфракрасного лазера, а, следовательно, увеличения градиента температуры и скорости конвекционных потоков, одна из частиц (третья по счету слева направо на кольце) покидает область оптической ловушки (мощность DPSS лазера составляла 100 мВт), и втягивается к центру потоком жидкости.



**Рисунок 1:** Кадр из видео по манипулированию микрочастицами латекса составной оптико-конвекционной ловушкой на двух длинах волн

Проведенные эксперименты продемонстрировали возможности формирования ловушек с различными распределениями интенсивности и независимого управления конвекционной и оптической составляющими ловушки за счет изменения мощностей лазерных источников.

### 3. Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-02-00671).

### 4. Литература

- [1] Zemánek, P. Perspective on light-induced transport of particles: from optical forces to phoretic motion / P. Zemánek, G. Volpe, A. Jonáš, O. Brzobohatý // *Adv. Opt. Photon.* – 2019. – Vol. 11. – P. 577-678. DOI: 10.1364/AOP.11.000577.
- [2] Zenteno-Hernandez, J.A. Optical trapping in the presence of laser-induced thermal effects / J.A. Zenteno-Hernandez, J. Vázquez Lozano, J.A. Sarabia-Alonso, J. Ramírez-Ramírez, R. Ramos-García // *Opt. Lett.* – 2020. – Vol. 45. – P. 3961-3964. DOI: 10.1364/OL.394647.
- [3] Linhan, L. Optothermal Manipulations of Colloidal Particles and Living Cells / L. Linhan, E.H. Hill, X. Peng, Y. Zheng // *Accounts of Chemical Research.* – 2018. – Vol. 51 (6). – P. 1465-1474. DOI: 10.1021/acs.accounts.8b00102.
- [4] Ruiz, U. Trapping and manipulation of microparticles using laser-induced convection currents and photophoresis / U. Ruiz, G. Beltrán-Pérez, S.L. Neale, J.C. Ramirez-San-Juan, R. Ramos-García // *Biomed Opt Express.* – 2015. – Vol. 6(10). – P. 4079-4087. DOI: 10.1364/BOE.6.004079.
- [5] Korobtsov, A. Manipulation of microparticles using optical vortex fields and convective heat fluxes / A. Korobtsov, S.P. Kotova, N.N. Losevsky, A.M. Mayorova, D.V. Prokopova // *International Conference Laser Optics (ICLO), Saint Petersburg.* – 2020. – P. 1. DOI: 10.1109/ICLO48556.2020.928570.