

PROCEEDINGS OF SPIE

27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics

Gennadii G. Matvienko
Oleg A. Romanovskii
Editors

5–9 July 2021
Moscow, Russian Federation

Organized by

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS (Russian Federation)
M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics RAS (Russian Federation)
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Russian Federation)
V.M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS (Russian Federation)

Sponsored by

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
"Atmosphere" an Open Access Journal by MDPI (Switzerland)
SOLAR LASER SYSTEM (Belarus)
Photonics Journal (Russian Federation)

Published by
SPIE

Volume 11916
Part One of Three Parts

Proceedings of SPIE 0277-786X, V. 11916

SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

КОНФЕРЕНЦИЯ С

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

РАМАНОВСКОЕ РАССЕЙАНИЕ НА ЧАСТИЦАХ: ФОРМИРОВАТЕЛЬ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПО ТРЕБОВАНИЮ

Волков С.Н.¹, Самохвалов И.В.², Ким Д.Х.³

¹Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

³Ханбат национальный университет, Тэджон, Республика Корея

e-mail: snvolk@iao.ru, lidar@mail.tsu.ru, dhkim7575@hanmail.net

На Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН создан стенд для измерения спонтанного рассеяния на сферических частицах. В ходе эксперимента так называемый генератор капель по требованию формирует сферическую частицу жидкости. В свободном падении частица пересекает плоскость облучения лазерным импульсом. В плоскости рассеяния регистрируется рассеянное частицей Рамановское излучение. Синхронизация осуществляется по импульсу запуска формирователя капель. Необходима стабильность как в формировании капель одинакового размера, так и в стабильном пространственно-временном положении частицы в плоскости рассеяния. На протяжении всего эксперимента указанная стабильность достигается с трудом. Предлагаемый подход призван улучшить временную и пространственную стабильность формирования сферических частиц.

Сравнение экспериментальных данных по рассеянию света частицами с теоретическими расчетами дает веское основание для признания или верификации основ расчетных методов [1-3]. Создание частиц с заданными параметрами находится в основе проведения подобных экспериментов. В большинстве случаев это создание облака частиц с заданным распределением по размерам. Последовательное формирование отдельных частиц повторяющейся формы и размера применяется реже и достаточно сложнее. Последовательная генерация частиц применяется при измерении характеристик рассеяния отдельными частицами. На Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН создан стенд для измерения спонтанного рассеяния частицами сферической формы. В основе стенда находится так называемый генератор капель по требованию. По импульсу запуска генератор капель по требованию формирует сферическую частицу жидкости. В свободном падении частица пересекает плоскость облучения лазерным импульсом. В плоскости рассеяния регистрируется Рамановское рассеянное частицей излучение. Синхронизация осуществляется по импульсу запуска формирователя капель. Необходима стабильность как в формировании капель одинакового размера, так и в стабильном пространственно-временном положении частицы в плоскости рассеяния. На протяжении всего эксперимента указанная стабильность достигается с трудом. Предлагаемый подход призван улучшить временную и пространственную стабильность в работе формирователя сферических частиц.

На рисунке 1 схематично показано устройство формирователя капель. Формирователь состоит из подсобной трубки (1) для заполнения камеры и удаления образовавшихся пузырьков, основной подводящей трубки (2), сопла формирователя (3), корпуса генератора, изготовленного из прозрачного полиметилметакрилата (4) и камеры с жидкостью (5). Одну из стенок камеры формирователя занимает пьезоэлемент на металлической диафрагме.

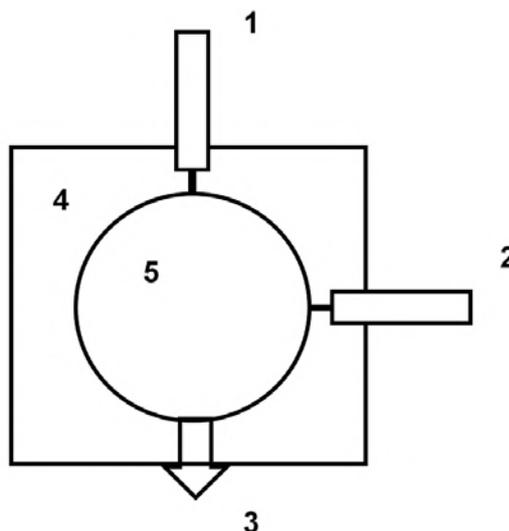


Рисунок 1 – Формирователь капель: 1 – подсобная трубка для заполнения камеры; 2 – основная подводящая трубка; 3 – сопло формирователя; 4 – корпус генератора; 5 – камера

Используем качественный подход для описания процесса работы формирователя капель. При подаче короткого импульса на пьезоэлемент диафрагма действует как усилитель увеличивая амплитуду сжатия/расширения пьезоэлемента не менее чем в 100 раз. Этого достаточно для выдавливания из камеры небольшого объема жидкости через сопло. Затем, с помощью сил поверхностного натяжения происходит отрыв и формирование сферической капли. Физический механизм формирования капли в момент отрыва от сопла достаточно хорошо изучен [4]. Отметим основные особенности, влияющие на стабильность процесса формирования.

– Силы поверхностного натяжения достаточно велики по отношению к выходящему из сопла объему жидкости. При выдавливании жидкости из сопла образуется перетяжка. Момент отрыва капли от перетяжки сопровождается образованием так называемых сателлитов, – мелких, разлетающихся в разные стороны от основной капли частиц. С одной стороны, сателлиты уносят с собой часть энергии формирования, с другой стороны на основную каплю действуют боковые силы, уводящие каплю от вертикального направления движения.

– На срезе сопла, по всей площади может образоваться наплыв жидкости и процесс образования перетяжки происходит на этой жидкой подушке. Это меняет характеристики

образования капель. Кроме того, увеличивается вероятность как боковых, так и вертикальных смещений капли при пересечении плоскости рассеяния.

– При обратном движении диафрагмы пьезоэлемента в камеру попадает небольшое количество воздуха. Этот воздух скапливается наверху камеры в виде пузырька постепенно увеличиваясь в объеме. В первом приближении вода несжимаемая жидкость. Однако воздушный пузырек не обладает этим свойством и играет роль демпфера. Часть энергии движения диафрагмы начинает теряться, – переходить на сжатие воздушного пузырька. В результате объем выдавливаемой из сопла жидкости меняется. Размер капли постепенно изменяется.

Подход к минимизации этих эффектов выглядит следующим образом.

– Регулировкой величины амплитуды импульса на пьезоэлементе добиваются устойчивой генерации капель с отсутствием сателлитов.

– Эффект демпфирования, приводящий к изменению размера капель устраняется постепенным во времени увеличением амплитуды запуска.

– Более сложным является уменьшение эффекта жидкостной подушки, описанное выше. Как правило материал сопла зависит от диаметра требуемых капель. Предпочтительны сопла из металла, поскольку они позволяют сводить сопла на конус, – с минимальной толщиной стенок на срезе сопла. В нашем эксперименте применяется доработанное сопло из бронзы от 3D принтера диаметром 150 мкм. Тем не менее, избавиться от образования жидкостной подушки не удалось. На боковом конусе сопла случайным образом начинает образовываться наплыв. Эта капля постепенно увеличивается и, влияя на процесс формирования капли, приводит к резкому увеличению кружка рассеяния положения капли в плоскости измерений. Образование наплыва на сопле происходит достаточно случайным образом и плохо поддается регулировке чтобы отказаться от проведения длительных экспериментов.

Было предложено использовать металлическое кольцо, расположенное вблизи среза сопла. При подаче потенциала на кольцо, между соплом и кольцом образуется разность потенциалов. На срезе сопла, это электростатическое поле максимально. На рисунке 2 это устройство показано как защитное кольцо.

Серия экспериментов, проведенных на экспериментальном стенде показала практически полное отсутствие эффекта наплыва в виде капли на боковой поверхности среза сопла. Таким образом, резко возросла долговременная стабильность положения капли при падении в момент пересечения плоскости измерений.

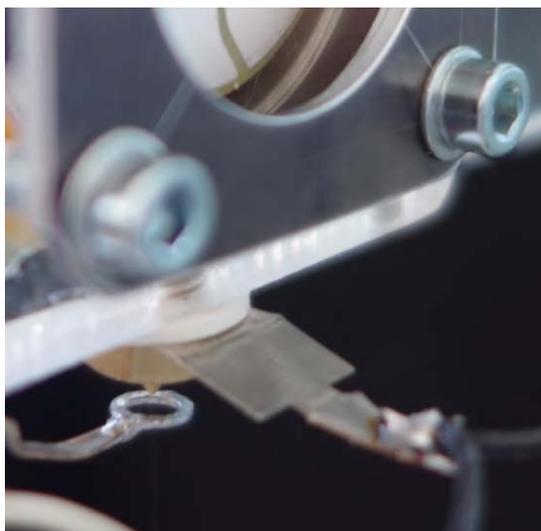


Рисунок 2 – Формирователь капель: в нижней части рисунка сопло с защитным кольцом

Следует отметить что установившаяся стабильность в генерации сферических частиц не зависела от разности потенциалов в этом диапазоне. Это указывает на то, что необходимы дополнительные предположения, объясняющие эффект установившейся стабильности.

Например, нуждается в проверке гипотеза о аэродинамической стабилизации. Воздушный поток возникает при выталкивании капли из сопла. Защитное кольцо играет роль стабилизатора при движении капли в воздушном потоке. Этот эффект также известен на примере стабилизации положения шара на срезе воздушного потока из трубы.

Работа выполнена при поддержке Программы «Научный фонд Томского государственного университета им. Д.И. Менделеева» и в рамках программы П.10.3.4. «Фундаментальные проблемы оптики атмосферы, включая молекулярную спектроскопию, распространение оптических волн, атмосферную коррекцию, дистанционную диагностику окружающей среды, эволюцию оптических характеристик под воздействием природных и антропогенных факторов» Рег. № АААА-А17-117021310145-6, № 0368-2018-0009 (ФАНО).

1. *Chew H., McNulty P. J., and Kerker M.* Model for Raman and fluorescent scattering by molecules embedded in small particles// *Phys. Rev.* 1976. A 13. P. 396–404.

2. *Volkov S.N., Samokhvalov I.V., Kim D.* Raman and fluorescent scattering matrix of spherical microparticles//*Applied Optics.* 2011. V. 50. No. 21. P. 4054-4062.

3. *Veselovskii I.A., Cha H. K., Kim D. H., Choi S. C., and Lee J. M.* Raman lidar for the study of liquid water and water vapor in the troposphere // *Appl. Phys. B.* 2000. V. 71. P. 113-117.

4. *Nuytens D., Baetens K., De Schamphelre M., Sonck B.* Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics// *Biosyst. Eng.* 2007. V. 97. P. 333-345.