

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 53.082.54

А.А. Русанов

*НИУ «МЭИ», Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: rusanov_andrei@mail.ru*

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ СПРЕЯ ЛАЗЕРНЫМ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ НА ПРИМЕРЕ СТАЦИОНАРНЫХ СТЕКЛЯННЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

АННОТАЦИЯ

Определение размеров и скорости частиц и капель является одним из наиболее важных параметров измерения, необходимых для анализа многих используемых в промышленных и медицинских целях спреев. К измерительному стенду, предназначенному для таких экспериментов, предъявляются высокие требования по юстировке измерительного оборудования. Для проведения тестовых экспериментов в данной работе использовались стеклянные сферические частицы, наклеенные на прозрачную пластину.

**ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МЕТОД, СПРЕЙ, СТАЦИОНАРНАЯ
МОДЕЛЬ, СТЕКЛЯННЫЕ ЧАСТИЦЫ**

ВВЕДЕНИЕ

При диагностики потоков жидкости и газа, все большее предпочтение отдается бесконтактным методам диагностики потоков жидкости и газа. Эти методы позволяют исследовать потоки без их возмущения, тем самым не внося дополнительные искажения в исследования. Существует много методов диагностики потоков, работающих на различных физических явлениях [1]. Они применяются во многих областях, таких как аэродинамика, гидродинамика, медицина и др. Настоящая работа посвящена одному из таких методов – лазерному интерференционному методу. Подробно принцип этого метода представлен в [2].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лазерный интерференционный метод одновременного измерения скорости и размера сферических частиц основан на регистрации изображения частиц в рассеянном излучении с помощью ПЗС камеры. Измерение размера прозрачных сферических частиц по изображению интерферометрической лазерной картины было предложено Рофом в 1993 г. [3] и основано на теории рассеяния Ми и на разнице фаз пучков, проходящих через прозрачную сферическую частицу. Этот метод также применим к изображениям капель жидкости в газе.

Рассеяние на большой частице описывается двумя механизмами [4]. Первый определяется отражением и преломлением лучей частицей в соответствии с законами

геометрической оптики, а второй – дифракцией волны на частице (что в дальней зоне эквивалентно дифракции Фраунгофера на непрозрачном диске).

Принцип измерения по данному методу основан на анализе интерференции отраженных и преломленных лучей. Регистрация интерференционной картины осуществляется при попадании прозрачной сферической частицы в лазерную плоскость с помощью ПЗС камеры, которая устанавливается в плоскости наблюдения и производит съемку расфокусированного изображения (рис. 1).

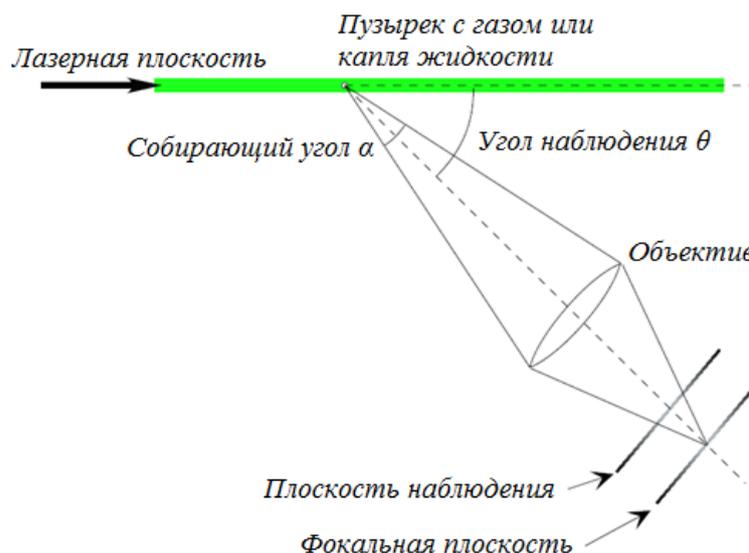


Рис. 1. Наблюдение интерференционной картины в ЛИМ

В данной работе использовался He-Ne лазер, который имеет форму волнового фронта в виде гауссовой пучка. Идеальный пучок должен быть симметричным с круглым пятном в поперечном сечении, но в реальности его форма несимметрична из-за нестабильности работы лазера [5]. При прохождении лазерного пучка через оптическую систему, формирующую лазерную плоскость, форма волнового фронта видоизменяется. Учитывая маленький размер исследуемых частиц, мы можем принять форму падающей на неё световой волны в виде сферической.

Традиционно под волновым фронтом понимают поверхность равных фаз. Чтобы разобраться какой тип интерференции наблюдается в ЛИМ, рассмотрим интерферирующие волны отдельно друг от друга. Посмотрим, как выглядит волновой фронт преломленной волны.

На рис. 2 изображен преломленный фронт волны первого порядка преломления. Многократное отражение света внутри прозрачной сферической частицы образуют “паразитные” волновые фронты с меньшей интенсивностью, и в данной работе рассматриваться не будут.

Используя теорию рассеяния Ми можно подобрать угол, под которым интенсивность рассеянного света будет максимальной. В таком случае и видность интерференционной картины также будет максимальной.

Теперь посмотрим, как будет выглядеть отраженный волновой фронт (рис. 3).

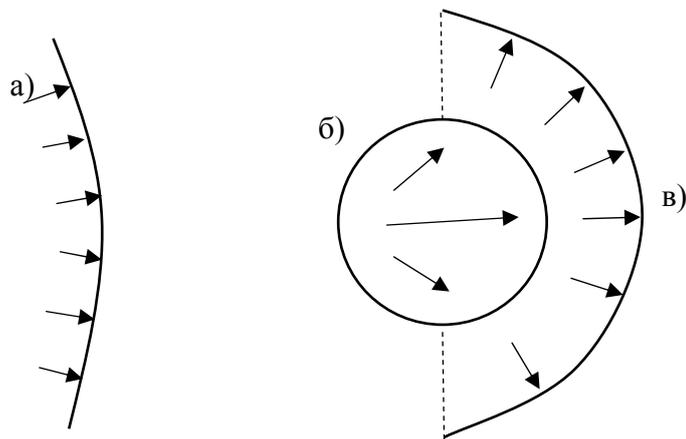


Рис. 2. Форма и направление распространения волнового фронта после его преломления на прозрачной сферической частице: а) падающий волновой фронт лазерной плоскости; б) прозрачная сферическая частица; в) преломленный волновой фронт

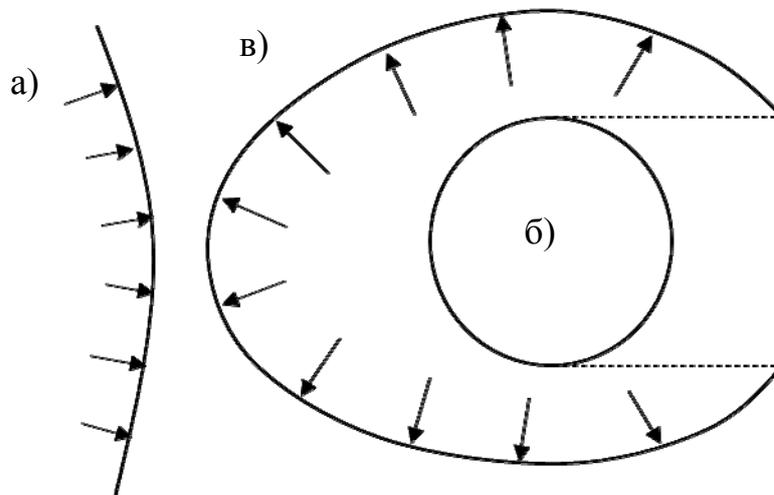


Рис. 3. Форма и направление волнового фронта отраженной от прозрачной сферической частицы волны: а) падающий волновой фронт лазерной плоскости; б) прозрачная сферическая частица; в) отраженный волновой фронт

Так как принцип лазерного интерференционного метода основан на интерференции отраженного и рассеянного фронтов, для большей наглядности изобразим их на одном рисунке (рис. 4).

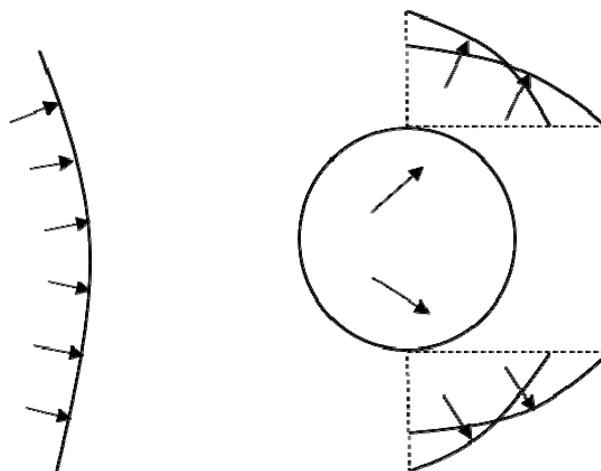


Рис. 4. Одновременное распространение отраженной и преломленной волны

Из рис. 4 видно, что интерференционная картина будет наблюдаться под определенными углами, и представлять собой интерференцию двух сферических волн, волновые векторы которых будут коллинеарны, а расстояние между ними будет зависеть от диаметра сферической частицы. Это расстояние можно вычислить геометрически (рис. 5).

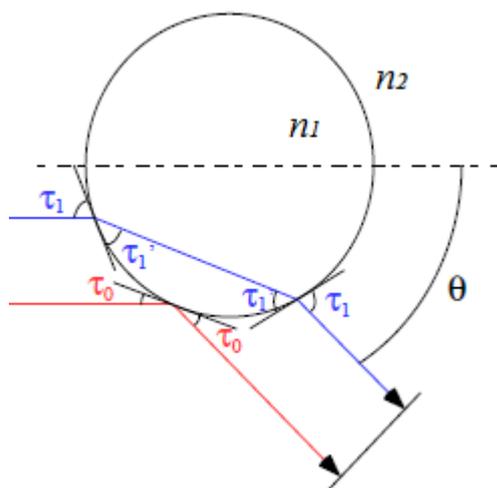


Рис. 5. Ход отраженного и преломленного лучей

В данной работе все вычисления производились в рамках геометрической оптики. Экспериментальные исследования проводились в широком диапазоне углов наблюдения. Измеряемым параметром является угловой период получаемой интерференционной картины $\Delta\varphi$.

Диаметр исследуемой капли определяется по формуле 1 [2]:

$$d = \frac{2\lambda}{n_c \cdot \Delta\varphi} \cdot \frac{1}{\cos(\theta/2) + \frac{n \cdot \sin(\theta/2)}{\sqrt{n^2 - 2n \cdot \cos(\theta/2) + 1}}}, \quad (1)$$

где θ – угол наблюдения (угол между камерой и лазерной плоскостью), λ – длина волны излучения, n – относительный показатель преломления, равный отношению коэффициентов преломления капли и окружающей среды $n = n_k / n_c$.

Существует множество методов измерения углового периода интерференционной картины. Некоторые из них описаны [2] и [6]. Многие из них сводятся к поиску отношения углового размера исследуемого объекта к его размеру на матрице камеры в пикселях:

$$\Delta = \frac{M \cdot h_{pix}}{r}, \quad (2)$$

где M – коэффициент оптического увеличения, r – длина расфокусировки, а h_{pix} – размер одного пикселя. Коэффициент оптического увеличения M можно определить, получив изображения сфокусированного тестового экрана.

Особенностью измерения параметров спрея лазерным интерференционным методом является высокая концентрация измеряемых капель. В результате чего, выделить отдельные капли в потоке возможно не всегда. Было предложено использовать сжимающую оптическую систему, состоящую из диафрагмы и блока цилиндрических линз, позволяющую фиксировать почти в 7 раз больше частиц на измеряемой площади [2].

Для исследования ЛИМ в качестве спрея использовались стеклянные сферические частицы диаметром 20 мкм, наклеенные на стеклянную пластину. Стационарность исследуемого объекта позволило произвести необходимую юстировку измерительного комплекса. Пример полученной интерференционной картины изображен на рис. 6.

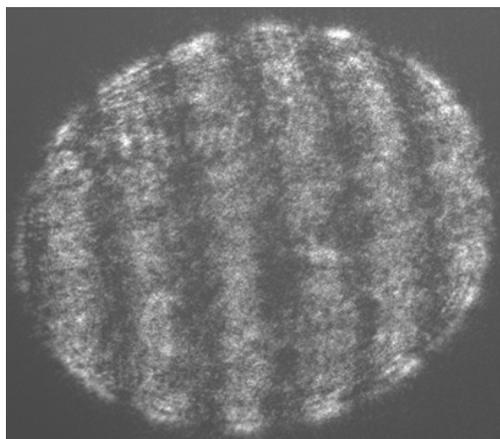


Рис. 6. Пример полученной интерференционной картины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показаны проблемы, возникающие при диагностике спрея, связанные с высокой скоростью и малым диаметром пузырьков жидкости. Экспериментально проведено тестовое исследование со стационарной моделью спрея. В качестве модели применялись стеклянные сферические частицы диаметром 20 мкм, наклеенные на стеклянную пластину.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект 7.3732.2011)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ринкевичюс Б.С. Лазерная диагностика потоков./ Под ред. В.А.Фабриканта. М.: Издательство МЭИ, 1990. 287 с.
2. Tatsuya Kawaguchi, Yukihiro Akasaka, Masanobu Maeda. Size measurements of droplets and bubbles by advanced interferometric laser imaging technique // Measurement Science and Technology. 2002. Vol. 13 P. 308-316.
3. Roth.N., Andres.K. and Frohn.A.. "Size and Evaporation Rate Measurements of Optically Levitated Droplets", The Third Intl. Congress on Optical Particle Sizing, 1993. pp. 371-377.
4. Семидетнов Н.В. Граничные эффекты рассеяния излучения на большой частице и их физическая интерпретация // Оптические методы исследования потоков: Тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. – М.: МЭИ, 2005. – С. 238-241
5. Михалев А.С. Оптико-электронный комплекс одновременного измерения параметров движущихся пузырьков газа или капель жидкости. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: 2009.
6. Semidetnov N., Tropea C. Conversion relationships for multidimensional particle sizing techniques // Measurement Science and Technology. 2004. Vol. 15. P. 112-118.