

УДК 535.31; 681.7; 53.082.5

РЕГИСТРАЦИЯ ПОТОКА, РАССЕЯННОГО В НАПРАВЛЕНИИ ЗОНДИРУЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Хан В.А., – к.ф.-м.н.

*ЗАО “Научно-образовательное предприятие
“Центр современных технологий””*

В статье проанализированы методы регистрации малоугловой индикатрисы рассеяния. Представленные экспериментальные результаты демонстрируют возможность регистрации мощности потока излучения, рассеянного в направлении зондирующего лазерного луча.

Известно, что диапазон углов, в котором необходимо регистрировать распределение интенсивности рассеянного излучения при лазерной диагностике аэрозолей, зависит от параметра дифракции $r = \pi dn/\lambda$, где d , n – диаметр и показатель преломления материала дисперсной частицы, λ – длина волны. При $r \gg 1$ характерные для дисперсной частицы особенности индикатрисы рассеяния находятся в малоугловой области.

Малоугловая индикатриса рассеяния определяет условия распространения потока оптического излучения в грубодисперсных аэрозолях. При этом все известные методы и приборы регистрации малоугловой индикатрисы не позволяют разделять прошедшее излучение от потока, рассеянного в направлении угла в 0° . Были проанализированы наиболее известные методы регистрации малоуглового рассеяния.

Разделить потоки, рассеянные на разные углы в направлении зондирующего излучения, можно с помощью линзы [1]. В фокальной плоскости линзы лучи, рассеянные на одинаковый угол, собираются в “точку”. При этом линзовая схема определения малоугловой индикатрисы позволяет проводить измерения лишь за пределами фокального пятна пучка, прошедшего через рассеивающую среду без взаимодействия с аэрозольными частицами.

Схема с призмой полного внутреннего отражения также позволяет отсеять поток прошедшего излучения, от рассеянного пучка [2]. В схеме с призмой полного внутреннего отражения происходит существенное искажение малоугловой индикатрисы рассеяния в области угла 0° . Из-за того, что рассеянные пучки, падающие под углом, близким к углу полного внутреннего отражения испытывают как преломление, так и отражение (зависящие от угла падения на преломляющую грань призмы). При этом лучи, рассеянные в направлении 0° также испытывают полное внутреннее отражение и не доходят до фотоприемника.

Потоки малоуглового рассеяния могут быть выделены за счет использования интерференционных явлений, в котором пространственно совмещают опорный и рассеянный пучки в плоскости регистрации [3]. Для определения интенсивности рассеянного в заданном направлении излучения измеряются интенсивности излучения: в минимуме и максимуме интерференции, затем поочередно опорного и прошедшего пучков. Такой способ определения малоугловой индикатрисы рассеяния, кроме необходимости определения поочередно величины четырех потоков, требует математической обработки измеряемых величин.

Разработан более простой интерференционный способ определения малоугловой индикатрисы рассеяния во всей малоугловой области (включая направление угла в 0°) [4]. Для этого поток коллимированного оптического излучения, прошедший через рассеивающую среду и опорный пучок совмещается и фокусируются в плоскости регистрации индикатрисы рассеяния. При этом угол пересечения оптических осей опорного и зондирующего пучков оптического излучений выбирается так, чтобы период интерференционной картины указанных пучков превышал диаметры их фокальных пятен, а фокальные пятна совмещаются в одном из минимумов интерференционной картины.

За счет интерференции пучков опорного и зондирующего оптического

излучений, можно достичь значительного снижения интенсивности прошедшего излучения. Поэтому в плоскости регистрации индикатрисы рассеяния интенсивность прошедшего рассеивающую среду зондирующего излучения может быть ниже порога чувствительности фотоприемника. Это позволяет разделять рассеянный (в направлении 0°) и прошедший потоки.

На рис. 1 приведена оптическая схема экспериментального стенда для определения малоугловой индикатрисы рассеяния, позволяющего регистрировать поток излучения, рассеянный в направлении зондирующего потока.

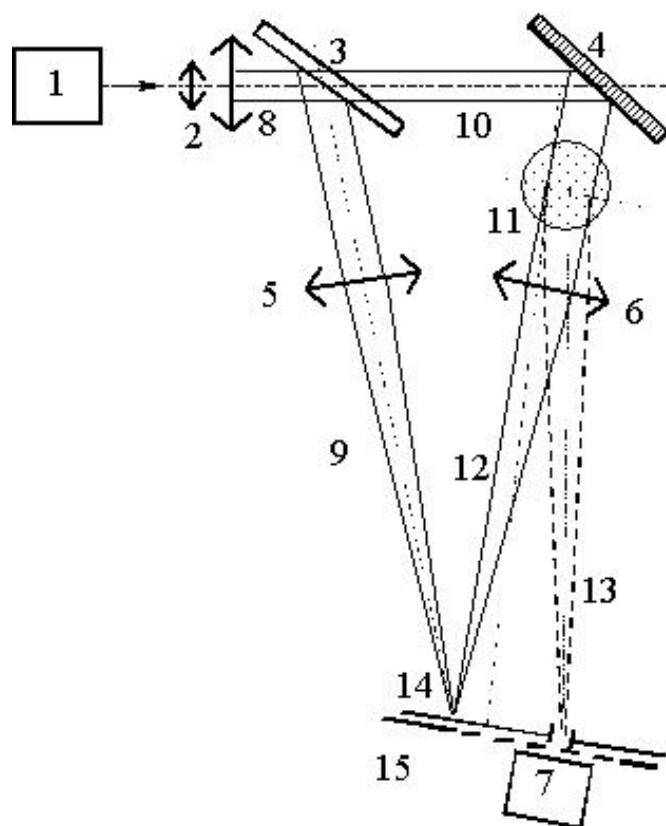


Рис. 1. Оптическая схема регистрации потока излучения, рассеянного в направлении 0° . 1 - лазер, 2 - коллиматор, 3 - светоделительная пластина, 4 - зеркало, 5, 6 - объективы, 7 - ФЭУ, 8 - исходный, 9 - опорный, 10 - зондирующий лучи, 11 - аэрозоль, 12 - прошедший пучок, 13 - рассеянный поток, 14 - подвижная, 15 - клиновидная диафрагмы.

Для формирования коллимированного пучка 8 использовали излучение гелий-неонового лазера ЛГ-79. Коллимированный поток с помощью светоделительной пластины 3 из стекла К-8 толщиной 30 мм, разделяли на пучки опорного 9 (отраженный от светоделительной пластины) и зондирующего 10 (прошедший светоделительную пластину) оптического излучений. Светоделительную пластину 3, по отношению к

направлению распространения коллимированного оптического излучения, устанавливали под углом $\approx 45^\circ$. Мощности коллимированных пучков выравнивали с помощью набора серых фильтров с общим коэффициентом ослабления в 15 раз, устанавливаемых в зондирующий пучок 10. Пучок зондирующего оптического излучения 10 с помощью поворотного зеркала 4 направляли на струю 11, диаметром не более 15 мм, содержащую частицы металлического железа диаметрами $25 \div 30$ мкм.

Пучки зондирующего оптического излучения: прошедший 12 и рассеянный 13 на разные углы в этой струе с помощью объектива 6 (Юпитер-21М) фокусировали на плоскость подвижной диафрагмы 14 шириной 0,5 мм, перпендикулярно к ней. Пучок опорного излучения 9 также фокусировали с помощью объектива 5 (Юпитер-21М) на плоскости подвижной диафрагмы 14 под углом в 6° к направлению зондирующего пучка. Фокальные пятна опорного пучка 9 и зондирующего пучка 10, прошедшего рассеивающую среду, оптического излучений сводили в одной точке на плоскости подвижной диафрагмы 14, совпадающей с областью наименьшей интенсивности одного из минимумов интерференционной картины. Расстояние между объективом 6 и струей аэрозоля 11 составляло 200 мм. Период интерференционной картины (6,04 мкм) почти в 2 раза превышал диаметр фокального пятна, расчетное значение которого составляло 3,1 мкм.

За подвижной диафрагмой 14 располагали ФЭУ 7. Индикатрису рассеяния, находящуюся в горизонтальной плоскости, регистрировали за счет сканирования подвижной диафрагмой 14 вдоль отрезка длиной 2 см со скоростью 30 м/с. Между подвижной диафрагмой 14 и фотоприемником 7 располагали клиновидную диафрагму 15 для уменьшения диапазона величин измеряемых потоков пучков рассеянного оптического излучения. Электрические сигналы ФЭУ-114 регистрировали с помощью осциллографа С8-12. Время регистрации индикатрисы рассеяния в

диапазоне углов $[0^\circ, 5,7^\circ[$ составлял ≈ 70 мс.

На рис. 2 приведена усредненная по нескольким реализациям экспериментальная малоугловая индикатриса рассеяния. Измерение уровня прошедшего излучения, регистрируемого без дисперсных частиц, показало, что величина рассеянного в направлении 0° потока излучения до ≈ 45 раз превышает интенсивность излучения в минимуме интерференционной картины. Поэтому в малоугловую индикатрису рассеяния основной вклад вносит рассеянное излучение, что доказывает возможность выделения потока, рассеянного в направлении 0° .

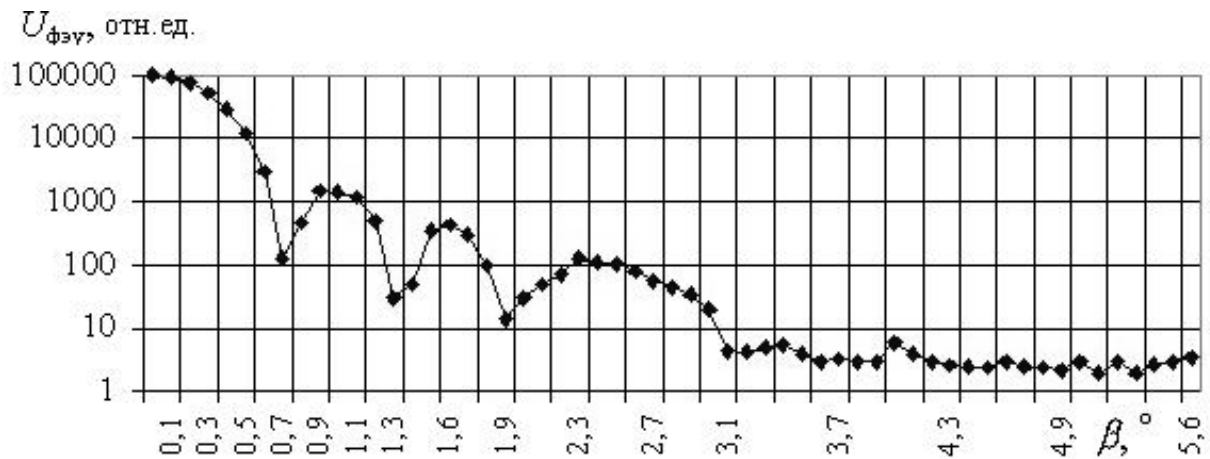


Рис. 2. Малоугловая индикатриса рассеяния излучения гелий-неонового лазера на порошке железа

1. Шифрин К.С. Изучение свойств вещества по однократному рассеянию // Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света. М., 1971. С.228-244.
2. Ощепков С.Л. Использование малоуглового светорассеяния в фотоседиментационном анализе дисперсных сред // ЖТФ. 1989. Т.59. В.7. С.193-195.
3. А.с. 1323927. СССР. 1987. МКИ G01N 21/00. Способ измерения индикатрисы рассеяния.
4. Патент РФ 2183828. 2002. МПК⁷ G01N 21/00. Способ определения малоугловой индикатрисы рассеяния.

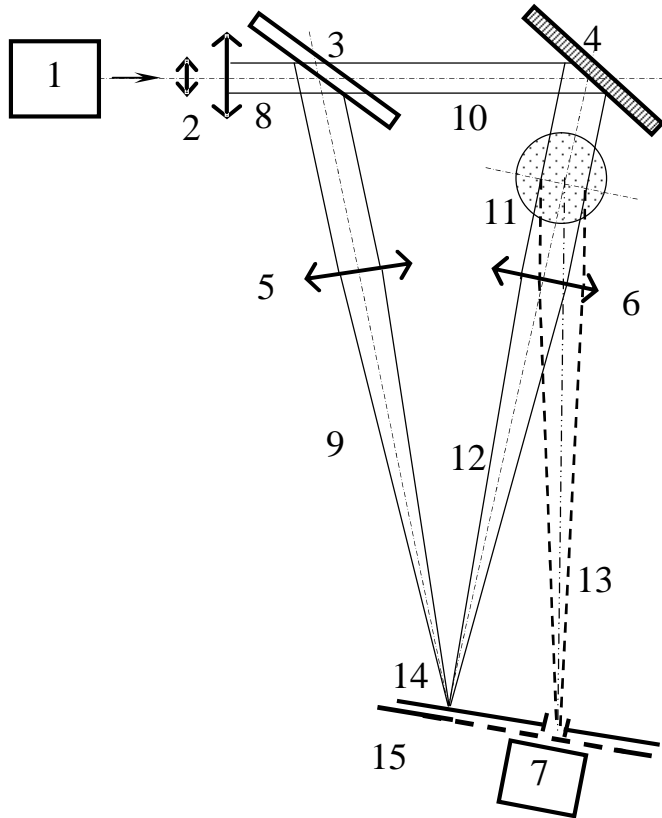


Рис. 1. Оптическая схема регистрации потока излучения, рассеянного в направлении "0°". 1 - лазер, 2 - коллиматор, 3 - светоделительная пластина, 4 - зеркало, 5, 6 - объективы, 7 - ФЭУ, 8 - исходный, 9 - опорный, 10 - зондирующий лучи, 11 - аэрозоль, 12 - прошедший пучок, 13 - рассеянный поток, 14 - подвижная, 15 - клиновидная диафрагмы.

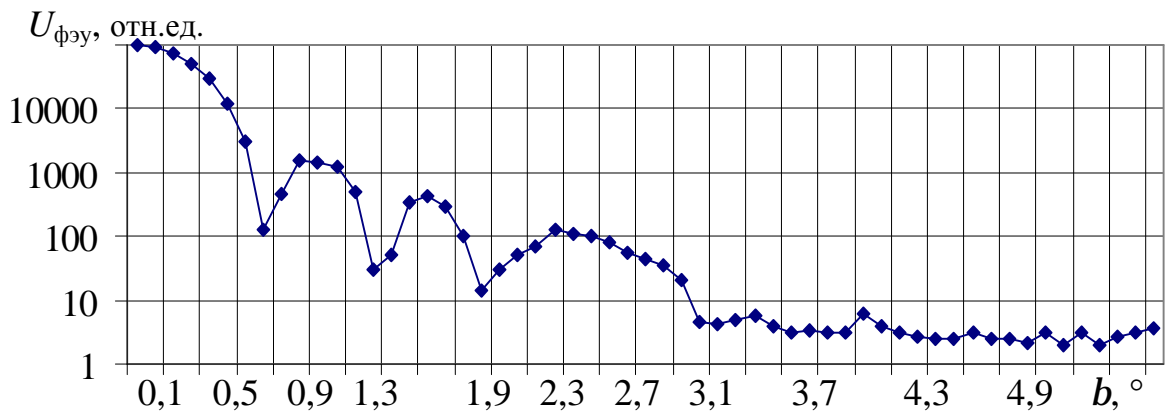


Рис. 2. Малоугловая индикатриса рассеяния излучения гелий-неонового лазера на порошке железа