

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОЙ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ ДВУХПОЗИЦИОННЫМИ СХЕМАМИ ЗОНДИРОВАНИЯ

Г. П. Арумов, А. В. Бухарин

*Институт космических исследований РАН,
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, дом 84/32.
E-mail: buhblih@mx.iki.rssi.ru,
www.iki.rssi.ru/lidartps1*

В данной работе предложен метод определения микрофизических свойств рассеивающей среды, состоящей из полидисперсных частиц. Приводится соотношение, связывающее размер частиц эффективной монодисперсной среды с соответствующими размерами частиц реальной полидисперсной среды. Показано, что с уменьшением размера частиц в полидисперсной среде уменьшается их вклад в значение эффективного размера частиц соответствующей эффективной среды.

Введение

Перспектива дистанционного определения микроструктуры рассеивающих объектов одночастотными лидарами, с точки зрения многих специалистов является практически неосуществимой [1]. Действительно, трудно надеяться на то, что нескольких коэффициентов (коэффициенты обратного рассеяния и экстинкции на одной длине волны) достаточно для восстановления базовых параметров среды, а именно размеров и концентрации частиц. Тем более, что реальные рассеивающие среды характеризуются некоторой функцией распределения частиц по размерам, а так же различными физическими и химическими свойствами аэрозоля. Решение проблемы может иметь реальную перспективу, если изменить постановку задачи следующим образом: найти размеры и концентрацию монодисперсных рассеивающих центров некоторой эффективной среды, которая производят такое же поглощение и искажение зондирующего пучка как исследуемая среда.

Ранее рассмотрена двухпозиционная схема [2] с двумя приемными и одним передающим каналами. В этой схеме поле зрения одного из приемных каналов совпадает с зондирующим пучком. Было показано, что существуют относительно простые способы измерения коэффициента поглощения и углового размера гало. Набора этих величин достаточно для определения эффективного размера и концентрации частиц в среде. В простейшем случае в отсутствие многократного рассеяния гало образуется в результате однократного рассеяния пучка частицами среды. Это приближение соответствует малым коэффициентам поглощения.

В данной работе мы рассмотрим случай полидисперсной среды. Этот случай соответствует реальным рассеивающим объектам и поэтому представляет практический интерес. Для наглядности рассмотрим случайный пропускающий экран (СПЭ). Напомним, этот экран представляет собой тонкую прозрачную плоскость с нанесенными на нее случайным образом непрозрачными пятнами. Будем рассматривать СПЭ с непрозрачными пятнами разных размеров см. рис 1.

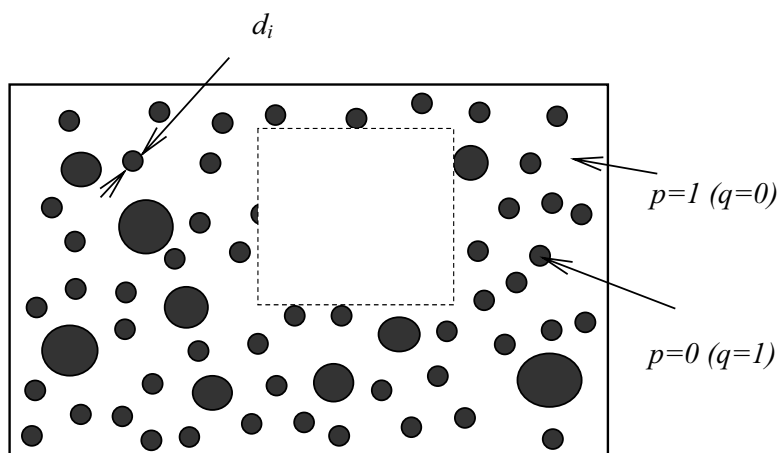


Рис. 1. Случайный пропускающий экран (СПЭ) с непрозрачными ячейками разных размеров, d_i – поперечный размер i -ой ячейки

Случай плоского экрана

Пусть имеется трасса, ограниченная поверхностью тест-объекта. В начале трассы находится лидар с двухпозиционной схемой зондирования, имеющий два приемных и один передающий каналы (ДПС(2)) см рис 2. В этой схеме поле зрения одного из приемных каналов совпадает с зондирующим пучком и геометрически повторяет поле зрения второго приемного канала. После установки СПЭ сигнал от тест-объекта уменьшится из-за увеличения полей зрения приемных каналов и углового размера пучка. Для моделирования трассовой зависимости убывания сигнала от тест-объекта будем использовать следующую функцию

$$z_g^{-2} = p^2 z^{-2} + (1-p^2) z_h^{-2} \quad (1)$$

Здесь p – коэффициент пропускания СПЭ, z – дистанция до тест-объекта, z_g – дистанция, измеряемая по увеличению перекрытия зондирующего пучка с полем зрения второго приемного канала. Для ДПС(2) эту дистанцию можно найти из трассовой зависимости отношения сигналов от тест-объекта, z_h – дистанция, измеряемая по отношению сигналов с угловым размером пучка равным угловому размеру гало. В левой части (1) трассовая зависимость убывания сигнала, измеренного основным приемным каналом, поле зрения которого совпадает с зондирующим пучком. Увеличение скорости убывания сигнала с дистанцией равносильно увеличению углового размера пучка и полей зрения приемных каналов. Это приводит к увеличению перекрытия поля зрения второго приемного канала с зондирующим пучком. В (1) z_g , z , p измеряемые величины. Следовательно, параметр углового размера гало z_h может быть найден из (1) поскольку является единственным неизвестным. Если угловой размер пучка φ_0 известен, то угловые размеры φ_h и φ_g определяются из соотношений

$$\varphi_h = \varphi_0 z_h / z, \quad \varphi_g = \varphi_0 z_g / z \quad (2)$$

Для СПЭ (см. рис. 1) коэффициент пропускания описывается выражением

$$p = 1 - \sum_i q_i, \quad q_i = S_i / S \quad (3)$$

Здесь, S_i – суммарная площадь пятен диаметром d_i , S – площадь СПЭ, q_i – суммарный коэффициент поглощения пятен с размером d_i . Перепишем (1) через q_i , φ_h , φ_0 с учетом (2), (3)

$$\varphi_g^{-2} = p^2 \varphi_0^{-2} + 2 \sum_i q_i \varphi_{hi}^{-2} \quad (4)$$

Здесь φ_{hi} – угловой размер гало, которое порождается пятном с поперечным размером d_i от пучка с угловым размером φ_0 . Цифра 2 образуется в результате того, что пучок дважды проходит через СПЭ туда и обратно. При получении (4) мы пренебрегли слагаемыми, содержащими q_i^2 . Рассмотрим случай, когда $\lambda / \varphi_{hi} \gg \varphi_0$. Тогда при наличии результатов микрофизической калибровки справедливо приближение плоской волны и $d_i = \lambda / \varphi_{hi}$. С учетом этого выразим второе слагаемое через измеряемые величины следующим образом

$$2q\varphi_h^{-2} = 2 \sum_i q_i \varphi_{hi}^{-2} \quad \text{или} \quad d_h = \sqrt{\frac{1}{q} \sum_i q_i d_{hi}^2} \quad (5)$$

Второе выражение получено в результате умножения первого на λ^2 и использования соотношения между поперечным размером пятна и дифракционным углом. Выражение (5) представляет собой сумму квадратов поперечных размеров пятен СПЭ. Для известной функции распределения пятен по размерам и заданной длине волны зондирующего излучения эффективный размер пятна может быть вычислен. Если пятна на СПЭ имеют одинаковый поперечный размер, то при наличии микрофизической калибровки измеряемый размер пятна d_h будет совпадать с реальным. Таким образом (5) определяет физический смысл измеряемого эффективного поперечного размера пятна случайного экрана. Посредством d_h при наличии коэффициента пропускания можно найти поверхностную плотность пятен на экране. Этот эффективный экран будет также поглощать, и искажать пучок, как исследуемый экран.

Ранее было показано, что в качестве оптимального измеряемого размера частиц можно выбрать размер λ / φ_0 . Из соотношения (5) следует, что вклад частиц с размерами много меньшими оптимального уменьшается пропорционально квадрату их диаметра.

Случай рассеивающей среды

Если вместо СПЭ взять слой с малой оптической толщиной в непосредственной близости от ДПС(2), то выражение (5) будет так же применимо, если сделать замену q_i на $\kappa_i \Delta z$, где κ_i – коэффициент поглощения слоя из частиц с поперечным размером d_i , Δz – толщина слоя. Поперечному размеру d_h будет соответствовать эффективный размер рассеивающей частицы. Зная эффективный размер частицы можно найти эффективную концентрацию рассеивающих частиц. Слой из таких частиц будет так же искажать, и поглощать

зондирующий пучок как исследуемая среда. С увеличением коэффициента поглощения в слое увеличивается вклад со стороны эффектов многократного рассеяния. Однако, в этом случае размер такого вклада может быть определен количественно (см. интернет страница). Приведенные результаты могут быть использованы и для однородной среды. В однородной среде угловое искажение пучка зависит от длины трассы [3]. В такой геометрии разные слои, находящиеся вдоль трассы зондирования дают разные вклады в искажения пучка. Каждый из этих вкладов можно смоделировать отдельными слоями, состоящими из монодисперсных частиц, размеры которых можно оценить из (5).

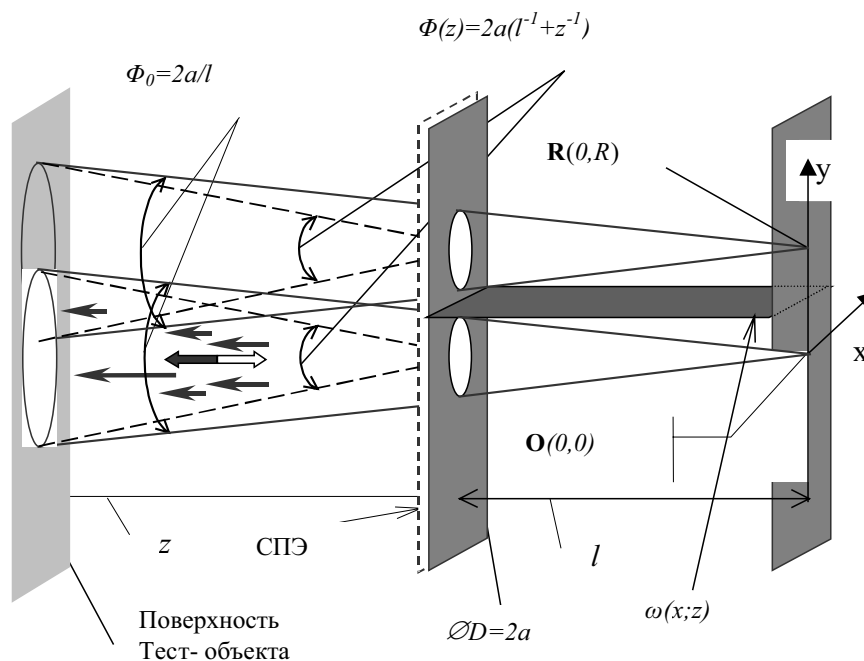


Рис. 2. Двухпозиционная схема зондирования с двумя приемными каналами ДПС(2)

Заключение

На основании вышеизложенного материала можно утверждать, что лидары с ДПС(2) могут иметь реальную перспективу применения как дистанционные измерители микрофизической структуры рассеивающих сред. В этой связи отметим, что в левой части (5) находятся величины, измеряемые лидаром с двухпозиционной схемой. Отметим, что в настоящее время одночастотные лидары обратного рассеяния (на одной длине волны) используются только для мониторинга рассеивающих сред (поиск и обнаружение локальных аэрозольных выбросов вдоль трассы зондирования).

Литература

1. *Лазерный контроль атмосферы*. Под ред. Э. Д. Хинкли // М.: Мир, 1979, 416 с.
2. *Г. П. Арумов, А. В. Бухарин, Н. С. Ерохин. Метод определения микрофизических параметров рассеивающих сред двухпозиционными схемами зондирования*. Институт космических исследований РАН. Пр-2095. Москва 2003. 19 с.
3. *А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно неоднородных средах. Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности и дистанционное зондирование* // М.: Мир, 1981г. Том 2, 317 с.