

В.В. Белодед, Г.А. Киричевский, В.М. Нужный

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЧИСЛЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИДИСПЕРСНОГО КОНДЕНСАЦИОННОГО АЭРОЗОЛЯ

В статье предложено развитие метода определения численной концентрации частиц в полидисперсном облаке, состоящем из капель, изменяющих свои размеры за время наблюдения. Метод разработан для эксперимента по определению скорости нуклеации в смеси «пересыщенный пар — неконденсирующийся фоновый газ». Этот эксперимент позволит дать ответ на ряд вопросов, актуальных как с точки зрения физики фазовых переходов, так и с точки зрения практических приложений в области метеорологии, охраны окружающей среды и др.

Для определения параметров аэрозоля предлагается новый вариант метода TAMS (Constant — Angle — Mie — Scattering). Предложенный Виетти и Шустером в 1973 г. [1], развиваемый в работах Доббинса [2], Вагнера [3], а также авторов настоящей статьи [4], он основан на сравнении значений временной зависимости интенсивности света, рассеянного аэрозолем, со значениями, рассчитанными по теории Ми [5]. В случае полидисперсного аэрозоля для расчета значений интенсивности необходимо знание функции распределения капель по размерам $f(r)$.

SAMS-метод позволяет восстановить спектр размеров тем полнее, чем больше углов наблюдения рассеяния применяется. Однако возможность измерения индикатрисы рассеяния ограничивается техническими трудностями, которые возникают, когда, например, время эксперимента мало. В интересующем нас случае оно не превышает 0,1 с, что приводит к использованию минимального набора измеряемых сигналов, что заставляет применять различные оценки $f(r)$, получаемые из ряда теоретических предположений и экспериментальных результатов [6, 7, 8].

В метод SAMS составной частью входит используемый самостоятельно метод измерения концентрации, основанный на определении доли света, рассеянного в объеме, где присутствует аэрозоль [2]. Однако вопросу о влиянии полидисперсности аэрозоля на результат при определении концентрации, по мнению авторов, не уделялось должное внимание.

Как известно, концентрация рассеивающих частиц может быть определена по величине ослабления зондирующего светового пучка, прошедшего через рассеивающий объем. Согласно закону Бугера

$$J = J_0 \exp\{-\tau l\}, \quad (1)$$

где J_0 , J — интенсивности на входе и выходе рассеивающего объема соответственно; l — толщина рассеивающего объема; τ — коэффициент ослабления. При однократном и независимом рассеянии монодисперсным аэрозолем

$$\tau = \tau_M = N_M \pi r^2 Q(r, n, \lambda), \quad (2)$$

где N_M — концентрация монодисперсного аэрозоля; r — радиус капель; $Q(r, n, \lambda)$ — фактор эффективности ослабления; n — показатель преломления вещества частицы; λ — длина световой волны.

Для полидисперсного аэрозоля с функцией распределения частиц по размерам

$$\tau_{\text{п}} = N \pi \int_0^{\infty} r^2 f(r) Q(r, n, \lambda) dr, \quad (3)$$

где N — суммарная численная концентрация капель всех размеров.

Вводим монодисперсный аэрозоль с таким радиусом капель

$$R = \int_0^{\infty} r f(r) dr, \quad (4)$$

что ослабление света реальным, полидисперсным и выбранным монодисперсным аэрозолями будет одинаковым.

Тогда из (2), (3) и (4) получим

$$N_M R^2 Q(R, n, \lambda) = N \int_0^{\infty} r^2 f(r) Q(r, n, \lambda) dr. \quad (5)$$

Возможность применения N_m в качестве оценки N проверялась нами прежде всего с учетом условий эксперимента, для которого разрабатывался метод определения параметров аэрозоля. Особенности применения метода связаны, в частности, с используемым способом определения среднего радиуса капель, который рассмотрен нами в [4, 5]. Он основан на установлении соответствия особенностей (Ми-пиков) экспериментально получаемых временных зависимостей интенсивности света, рассеянного под двумя фиксированными углами наблюдения (30 и 45°), с Ми-пиками теоретических кривых. Последние представляют собой результат расчета зависимости интенсивности рассеянного света от размера капли по теории Ми.

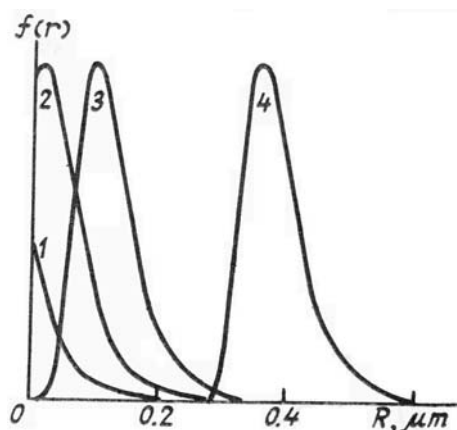


Рис. 1. Эволюция спектра размеров капель

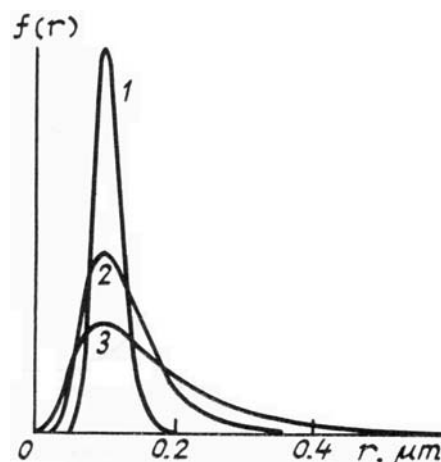


Рис. 2. Часть набора $f(r)$, использованного при моделировании рассеяния и ослабления

Применение метода ограничивается тем, что в полидисперсном аэрозоле Ми-экстремумы сглаживаются. Впервые оценка влияния $f(r)$ на искажение этих особенностей приводилась в [1]. Мы также оценивали сглаживающее действие функции распределения капель по размерам. Нами была принята схема изменения $f(r)$, показанная на рис. 1. Предполагалось, что на первой стадии происходит формирование спектра капель (1, 2, 3). На второй стадии спектр как целое перемещается по оси размеров — кривая 4.

Рассчитывалась зависимость интенсивности рассеянного света от среднего радиуса капель, определяемого по формуле (4). Это означает, что при каждом положении $f(r)$ на оси размеров значение интенсивности ставилось в соответствие значению R . Длина волны зондирующего света была выбрана равной 0,63 мкм. Расчеты проводились для водного аэрозоля с показателем преломления $n = 1,33$. Значения R варьировались от 0,01 до 4,00 мкм.

Конкретный вид функции распределения капель по размерам был выбран, исходя из того, что литературные источники, например, [6, 7, 8], указывают на то, что логнормальное распределение является типичным для конденсационных аэрозолей. Учитывались также особенности формирования облака в камере Вильсона. Полностью сформированный спектр капель (рис. 1, кривая 3) рассчитывался по формуле

$$f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} \exp\left\{-\frac{(\ln r - \ln a)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (6)$$

где a — медиана, σ — параметр распределения.

Различные виды спектров получены при фиксации значения $r_{\text{mod}} = a \exp\{-\sigma^2\} = 0,1$ мкм и варьировании σ от 0,1 до 0,75. Полученные распределения показаны на рис. 2. Здесь приведены кривые с $\sigma = 0,2-1$; $0,5-2$; $0,75-3$. Все кривые нормированы на 1.

При анализе результатов расчета функций светорассеяния для самой широкой из применяемых $f(r)$ было установлено, что отклонение Ми-пиков на сглаженных кривых от соответствующих особенностей на кривых для монодисперсного аэрозоля не превышало 2%. Было показано также, что дальнейшее уширение $f(r)$ оказывает настолько сильное сглаживающее действие, что становится невозможной идентификация Ми-пиков, особенно при малых R .

Этот же набор функций распределения был использован для оценки качества определения численной концентрации при замене полидисперсного аэрозоля монодисперсным. Согласно (5) рассчитывалось отношение N_m/N . Установлено, что при $R \geq 0,4$ мкм отношение N_m/N отклоняется от 1 не более чем на 0,05, а при $R < 0,4$ мкм — не более чем на 0,2. Проводились также расчеты с функциями распределения, являющимися зеркальным отображением использованных ранее. Отклонения N_m/N оставались в тех же пределах.

Полученные результаты позволили применить рассмотренный метод для эксперимента по исследованию нуклеации и скорости роста мелких капель воды в камере Вильсона [9, 10] измерялась временная зависимость интенсивности рассеянного света под двумя углами 30 и 45° к направлению распространения зондирующего пучка и его ослабления. Источник света — ОКГ ЛГ-78. Теоретические зависимости рассчитывались по теории Ми методом фазовых углов с помощью специально написанных авторами программ. Средний радиус капель определялся при помощи диалоговой программы с использованием средств машинной графики.

1. Vietti M.A., Schuster B.G. //J. Chem. Phys. 1973. V. 5. № 2. P. 434–441.
2. Dobbins R.A., Eklund T.I., Tjoa R. //J. Aerosol Sci. 1980. V. 11. P. 23–33.
3. Wagner P.E. //J. Colloid and Interface Sci. 1985. V. 105. P. 456.
4. Дрофа В.А., Белодед В.В., Киричевский Г.А. и др. Определение параметров аэрозоля в камере Вильсона. Киев: Киев, госуниверситет. 1984. 18 с. Деп. в УкрНИИИТИ 698 УкД84.
5. Хюлст Ван Де. Рассеяние света малыми частицами. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 536 с.
6. Дрофа В.А., Киричевский Г.А., Нужный В.М. //Физика жидкого состояния. Киев: Выща школа, 1981. Вып. 9. С. 118–122.
7. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979. 528 с.
8. Szymansky V., Wagner P.E. //Atmospheric Environment. 1983. V. 17. № 11. p. 2271–2276.
9. Beloded V.V., Kirichevskij G.A., Nuzhnyi V.M. //J. Aerosol Sci. 1989. V. 20. № 8. P. 1043–1046.
10. Beloded V.V., Kirichevskij G.A., Nuzhnyi W.M. //J. Aerosol Sci. 1989. V. 20. № 8. P. 1047–1050.

Киевский государственный университет им. Т.Г. Шевченко

Поступила в редакцию
24 апреля 1990 г.

V.V. Beloded, G.A. Kirichevskii, V.V. Nuzhnyi. **On the Measurements of the Poldispersed Condensation Aerosol Number Density.**

The paper suggests a technique for determining number density of particles in a polydispersed clouds composed of particles with the sizes varying during the observations. The technique has been developed for the experiment on determination of the nucleation rate in the mixture of a supersaturated vapor and noncondensing gas. Such an experiment would be very informative concerning certain problems of the physics of the phase transitions as well as from the standpoint of meteorology and environmental protection.