

Ю. В. ЖУЛАНОВ, Б. Ф. САДОВСКИЙ, академик И. В. ПЕТРЯНОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАТОРА ОКГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ

Широкий диапазон размеров и концентраций аэрозолей обуславливает значительное число методов и приборов для определения этих характеристик аэродисперсных систем. Важное место среди них занимают фотоэлектрические аэрозольные спектрометры (ф.а.с.), основанные на измерении интенсивности рассеянного частицами под определенным углом света. Важнейшими характеристиками ф.а.с. являются минимальный регистрируемый размер частиц $r_{\min}$ и максимальная концентрация $N_{\max}$.

Минимальный регистрируемый размер частиц зависит от интенсивности освещения рабочего объема и уровня шумов фотоприемника. Максимальная, измеряемая без разбавления, концентрация определяется величиной рабочего объема и зависит от допускаемой вероятности попадания в рабочий объем двух и более частиц одновременно:

$$P(k) = \frac{(NV_p)^k}{k!} e^{-NV_p}.$$

При $P(k) = 5\%$ максимальная концентрация, измеряемая без разбавления, $N_{\max} = 0,1/V_p$.

В настоящее время применение для освещения обычных источников света уже не дает улучшения параметров ф.а.с. Дальнейший прогресс в улучшении характеристик ф.а.с. может быть достигнут при применении в качестве источников света оптических квантовых генераторов непрерывного действия. Этому способствуют следующие свойства лазерного излучения. 1. Высокая интенсивность излучения, позволяющая создать в рабочем объеме ф.а.с. освещенность, превосходящую освещенность от обычных источников света. Это дает возможность регистрировать частицы меньших размеров. 2. Параллельность луча лазера позволяет значительно уменьшить уровень фоновой засветки, что также способствует регистрации частиц меньших размеров. 3. Монохроматичность излучения улучшает условия регистрации, поскольку в параметр Ми $\alpha = 2\pi r/\lambda$ входит длина волны λ и при ее фиксированном значении упрощается решение уравнения рассеяния. Кроме того, поскольку рассеянный частицами свет лежит в узком спектральном диапазоне, то, подобрав соответствующий светофильтр, можно отсеять фоновую засветку от других участков спектра.

Целью работы было изучение возможности создания ф.а.с. с использованием в качестве источника света лазера и выяснение возможных параметров такого спектрометра. Основное затруднение состоит в том, что лазеры, создающие в рабочем объеме освещенность, которая превышает освещенность от обычных источников света, имеют значительные размеры, что препятствует созданию промышленных переносных приборов.

Для преодоления этих затруднений предложено использовать для освещения рабочего объема пучок света внутри резонатора (He — Ne)-лазера, мощность которого более чем на два порядка превышает мощность выходного луча, который обычно используется.

Такое решение дало возможность значительно увеличить интенсивность освещения рабочего объема при существенном уменьшении габаритов используемого лазера. Кроме того, применен метод оптического формирования рабочего объема (рис. 1). На освещенный объем $V_{об}$, образованный пересечением под прямым углом пучка света диаметром $d=2$ мм струйкой аэрозоля $d=0,15$ мм, накладывалось изображение щели шириной $0,1$ мм.

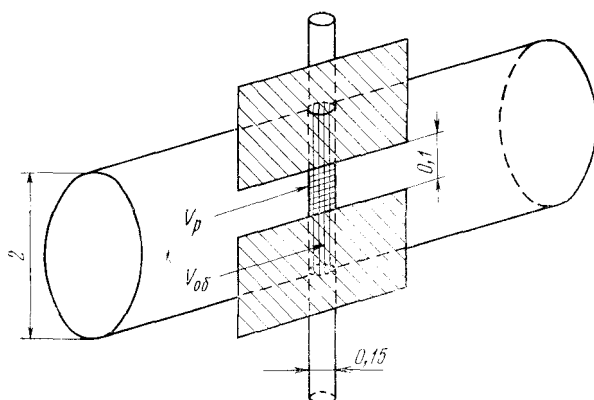


Рис. 1. Схема формирования рабочего объема ф.а.с.

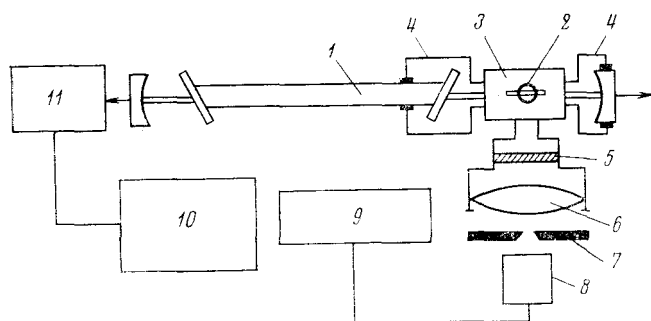


Рис. 2. Принципиальная схема установки. 1 - гелий-неоновый лазер ЛГ-56, 2 - дюза напуска аэрозоля, 3 - рабочая кювета, 4 - герметизирующее устройство, 5 - светофильтр КС-11, 6 - объектив, 7 - щель, 8 - ФЭУ, 9 - осциллограф, 10 - индикатор мощности излучения, 11 - фоторезистор

Полученный таким образом объем $V_p=1,8 \cdot 10^{-6}$ см³, что дало возможность измерять без разбавления концентрации до $5 \cdot 10^4$ см⁻³. Уменьшение рабочего объема также привело к снижению фоновой засветки, а это способствовало снижению размера регистрируемых частиц.

Для выяснения минимального регистрируемого размера частиц были проведены опыты по определению зависимости амплитуды импульсов от размера частиц и выяснению оптимальных условий регистрации. Опыты проводили на экспериментальной установке (рис. 2).

Внутри резонатора (He - Ne)-лазера ЛГ-56 помещали рабочую кювету. Свет, рассеянный частицей, собирался в определенном телесном угле объективом, попадал на фотоумножитель ФЭУ и далее регистрировался частотомером и осциллографом. В опытах использовали моодисперсный аэрозоль стеариновой кислоты радиусом от 0,1 до 0,3 мкм. Для выяснения оптимальных условий регистрации, опыты проводили на разных типах ФЭУ, при различной чувствительности и значениях телесного угла, в кото-

ром собирался рассеянный частицами свет, а также использовали свето-фильтры.

На рис. 3 представлена зависимость отношения сигнал — шум ρ (для ФЭУ-69) от размера частиц при двух значениях телесного угла, в котором собирается рассеянный частицей свет. Монодисперсный аэрозоль стеариновой кислоты с известным $r_{\text{ср}}$ прокачивался через рабочий объем в рубашке чистого фильтрованного воздуха со скоростью 0,3 м/сек. Полученные импульсы обсчитывали и строили гистограмму распределения по амплитуде. Из гистограммы определяли среднее значение амплитуды импульсов и

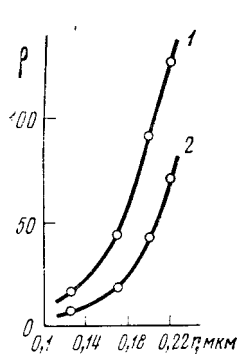


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость отношения сигнал — шум ρ от размера частиц r . 1 — регистрация рассеянного света в телесном угле 33° , 2 — в угле 23°

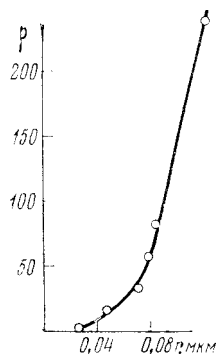


Рис. 4

Рис. 4. Зависимость отношения сигнал — шум от размера частиц

величину ρ , соответствующую данному размеру частиц аэрозоля. По этим данным строилась зависимость ρ от r (рис. 3). Из графика видно, что при большем телесном угле возможна регистрация частиц меньших размеров. Экстраполяция зависимости до значения $\rho=2$, т. е. когда еще возможна надежная регистрация сигнала, дает значение минимального регистрируемого размера частиц, равное 0,07 мкм.

В следующих опытах для освещения объема использовали более мощный лазер ЛГ-36. Зависимость амплитуды импульсов от размера частиц для аэрозоля селена, полученная в этих опытах, описывается уравнением $I=Ar^n$, где $n=3,3$.

Как видно из графика зависимости ρ от r (рис. 4), минимальный регистрируемый размер частиц при соотношении сигнал — шум, равном 2, составил 0,025 мкм. Полученный результат существенно превышает достигнутые в настоящее время значения r_{min} и дает возможность проводить измерения дисперсности аэрозолей в диапазоне радиусов от 0,03 до 0,3 мкм, который не охватывается другими методами. Чувствительность выпускаемых в настоящее время счетчиков типа АЗ равна 0,25 мкм по радиусу, а максимальная измеряемая без разбавления концентрация $N_{\text{max}}=3 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$. Результаты, полученные в работе, показывают возможность повышения на порядок чувствительности счетчиков и на два порядка N_{max} .