

4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Киев: Наукова думка, 1971.
5. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженера. М.: Атомиздат, 1979.
6. Войцеховский Н. И. Особенности исследования вибропрочности упругих конструкций с учетом частотных факторов.— В кн.: Колебания, прочность и устойчивость сложных механических систем. Киев: Наукова думка, 1979.

Поступило в редакцию 5 апреля 1978 г.;  
окончательный вариант — 21 января 1980 г.

УДК 621.378.3 : 538.615

С. Н. АТУТОВ, С. С. БЕДНАРЖЕВСКИЙ, В. П. МАЛЬЦЕВ,  
Э. Г. САПРЫКИН, Г. И. СМИРНОВ, В. Е. СОЛОБОВ  
(Новосибирск)

### ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ НЕФЕЛОМЕТР

При решении многих проблем физики, химии, биологии и медицины возникает задача экспресс-анализа состава многокомпонентных полидисперсных систем. Эффективным средством ее решения может служить лазерная нефелометрия. В последние годы выполнен целый ряд работ, в которых метод лазерной нефелометрии применялся для определения концентрации только одной компоненты взвеси. В частности, Вудвордом были экспериментально установлены закономерности рассеяния лазерного излучения частицами латекса [1], а Зибер и Гросс методом лазерной нефелометрии определили содержание альбумина в дисперсно-коллоидной смеси [2].

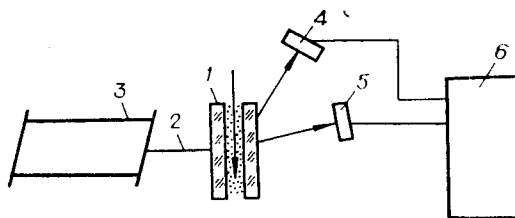
В данной работе изучены некоторые возможности использования зависимости угловой анизотропии рассеяния от соотношения между длиной волны и характерным размером микрочастиц для высокоточного измерения концентрации двух и более компонентов полидисперсной системы. Эти возможности связаны с регистрацией рассеянного лазерного излучения под разными углами. Ниже они демонстрируются на примере лазерного нефелометра, предназначенного для измерения концентраций двух компонентов гомогенизированного молока — белка и жира. В соответствии с теорией Рэлея — Ганса [3] концентрации данных компонентов можно представить как однозначно определенные функции двух параметров — интенсивностей лазерного излучения, рассеянного под двумя углами.

Блок-схема двухпараметрического лазерного нефелометра приведена на рисунке. Измерительная система имеет три основных блока: источник света с блоком питания, кюветный блок и блок индикации.

Источником света служил одномодовый гелий-неоновый лазер ( $\lambda=0,63$  мкм, мощность 0,3 мВт). Заметим, что применяемые иногда ламповые источники света с конденсором (см., например, [4]) обладают, наряду с невысокой спектральной плотностью излучения, более значительным фоном рассеянного света по сравнению с лазерной системой. Это вызывает заметную паразитную засветку приемного устройства и уменьшает в конечном счете чувствительность и точность измерения. Недостатком коллимирующих оптических систем по сравнению с лазерными является также их повышенная восприимчивость к температурным колебаниям и механическим воздействиям. Дополнительная погрешность вносится вследствие немонохроматичности излучения лампы накаливания.

В описываемом лазерном нефелометре для усреднения случайных флуктуаций интенсивности рассеянного излучения, вызванных броуновским движением взвешенных микрочастиц, анализируемая проба, разбавленная водой с целью получения однократного рассеяния, пропускается через проточную кювету 1. На поверхность кюветы направляется лазерный пучок 2, образуемый оптическим квантовым генератором 3, работающим в непрерывном режиме.

В исследуемых пробах количество мицелл белка примерно в  $10^4$  раз превышает количество жировых шариков. Характерный диаметр жировых частиц составлял 2 мкм, а белковых — 0,1 мкм. Индикатриса для жировых частиц (в отличие от



белковых) сильно вытянута в направлении падающего лазерного луча (вперед). Оценки показывают, что в условиях данного эксперимента интенсивность светового потока, рассеянного жировыми шариками назад, меньше в  $10^3$  раз интенсивности светового потока, рассеянного ими вперед, тогда как белок рассеивает свет во все стороны примерно одинаково. Рассеянное излучение улавливают фотоприемники 4 и 5, расположенные под разными углами к направлению падающего лазерного луча 2. Соответствующие электрические сигналы фотоприемников с помощью электронного блока 6 преобразуются в показания процентного содержания компонентов.

Прибор продемонстрировал более высокую воспроизводимость результатов измерений, чем его зарубежные прототипы, не имеющие лазерно-оптических систем регистрации. Так, например, при определении концентрации жира и белка лучшими зарубежными анализаторами абсолютное значение среднеквадратичного отклонения 0,02 % [5]. В серии измерений на нашем приборе указанное отклонение составило 0,005 %. Без прокачки и гомогенизации проб погрешность измерений возрастала в 3—5 раз.

Таким образом, двухпараметрический лазерный нефелометр позволяет повысить воспроизводимость результатов измерений и упростить методику анализа состава многокомпонентных систем. Очевидно, что устройства подобного типа, помимо научных исследований, могут применяться для автоматического контроля за многими технологическими процессами в пищевой, химической и других отраслях промышленности.

Авторы признательны С. Г. Раутиану за полезное обсуждение работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Woodward D. H. He-Ne Laser as Source for Light Scattering Measurements.— Appl. Opt., 1963, vol. 2, p. 1205.
2. Sieber A., Gross T. Determination of Proteins by Laser Nephelometry.— In: Proc. 23 Coll. "Protides of the Biological Fluids". Oxford, 1976, p. 295.
3. Ван де Хюлет Г. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИИ, 1961.
4. Терентьев В. Ф., Терентьева Ю. Х., Филюшов Д. И. Фотометрический метод измерения концентраций компонентов растворов.— Измерительная техника, 1978, № 4, с. 82.
5. Брусилковский Л. П., Вайнберг А. Я. Автоматизация технологических процессов в молочной промышленности. М.: Изд-во пищ. пром-сти, 1978.

Поступило в редакцию 5 ноября 1980 г.