

С. С. БЕДНАРЖЕВСКИЙ, Г. Д. РОДИОНОВ, Э. Г. САПРЫКИН,  
Г. И. СМИРНОВ  
(Новосибирск)

### АНАЛИЗ МИКРОФЛОРЫ В ДИСПЕРСНО-КОЛЛОИДНЫХ СМЕСЯХ И РАСТВОРАХ ЛАЗЕРНЫМ НЕФЕЛОМЕТРОМ

В разнообразных биологических и медицинских исследованиях важную роль играет проблема оперативного контроля за микроорганизмами, содержащимися в дисперсно-коллоидных смесях и растворах. Ниже рассматривается возможность ее решения на основе лазерной нефелометрии.

Анализ содержания микроорганизмов в дисперсно-коллоидных смесях с помощью обычного нефелометра, использующего в качестве источника излучения лампу накаливания, существенно осложняется или становится неосуществимым, так как, помимо суспензии клеток, вклад в светорассеяние вносят микрочастицы среды. Обладая высокой спектральной плотностью и направленностью, лазерное излучение позволяет применять особенности угловой асимметрии рассеяния на частицах разного размера [1—3] для выделения сигнала только от микроорганизмов.

На рис. 1 показана структурная схема использованного в наших опытах экспериментального устройства. Источником света 1 служил промышленный гелий-неоновый лазер ЛГ-75, генерирующий излучение с длиной волны  $\lambda=0,63$  мкм и мощностью 10 мВт. Прошедшее через кювету 2 с анализируемой пробой лазерное излучение попадало на экран в виде конуса 3, помещенного перед коллимирующей линзой 4. Рассеянное на микрочастицах излучение фокусировалось линзой 4 на фотоприемник 5 и измерялось вольтметром 6. Фокусное расстояние линзы 3 см, диаметр 5,4 см. Линза фокусировала излучение, рассеянное вперед в телесный угол 0,25 ср, причем меридиональный угол  $\theta$  менялся от 2,5 до 17°. Для контроля мощности лазера часть излучения отводилась с помощью разделительной пластинки 7 на измеритель мощности, состоящий из фотоприемника 8 и микроамперметра 9. С помощью диафрагмы 10 осуществлялось изменение поперечного сечения лазерного луча.

Исследовалось рассеяние лазерного излучения суспензией бактерий *Str. lactis* в дисперсно-коллоидной смеси белков (казеин, альбумин, глобулин), а также бактериями *Str. lactis* и *L. plantarum* в физиологическом растворе. Стандартные калибровочные кривые приведены на рис. 2.

Бактерии *Str. lactis* моделируются однородными шарами со средним радиусом  $a_b=0,5$  мкм и показателем преломления  $n_b=1,36$  [2]. Рассеяние в данном случае можно описать приближенно теорией Рэлея — Ганса [1], так как выполняются условия

$$|n_b/n_0 - 1| \ll 1, \quad (1)$$

$$(4\pi/\lambda) n_0 a_b |n_b/n_0 - 1| \ll 1, \quad (2)$$

где  $n_0$  — показатель преломления окружающей среды (воды). Индикатриса рассеяния на бактериях сильно вытянута вперед в направлении падающего лазерного луча. Расчет показывает, что практически вся интенсивность рассеянного излучения приходится на телесный угол, ограниченный углом  $\theta_{\max}=20^\circ$ . Интенсивность излучения, рассеянного на большие по сравнению с  $\theta_{\max}$  углы, меньше интенсивности рассеяния вперед на три порядка в максимуме.

Диаграмма рассеяния на частицах белка (радиус  $a_p=0,05$  мкм) более симметрична и представляет собой почти сферу. Здесь вперед рассеивается излучение только на  $\sim 10\%$  больше, чем назад.

Интенсивность излучения, рассеянного бактериями *Str. lactis*, превосходит по величине интенсивность рассеяния на белке, если выполняется условие

$$\frac{\Omega}{4\pi} N_p a_p^2 Q_p < N_b a_b^2 Q_b, \quad (3)$$

где  $\Omega$  — телесный угол регистрирующей системы,  $N_{p,b}$  — концентрации белка и бактерий,  $Q_{p,b}$  — фактор эффективности рассеяния. В приближении Ганса — Рэлея имеем

$$Q_{p,b} = \frac{8\pi^2 a_{p,b}^2}{\lambda^2} \left( \frac{n_{p,b}}{n_0} - 1 \right)^2, \quad (4)$$

т. е.  $Q_p=(2-5) \cdot 10^{-4}$ ,  $Q_b=0,035$ . Если учесть, что рассеяние на углы, меньшие  $2,5^\circ$ , не регистрируется, то правую часть неравенства (3) необходимо уменьшить в 2—3 раза.

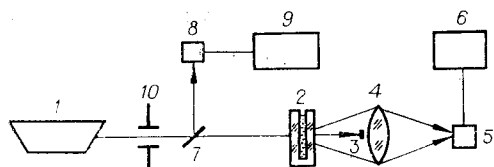


Рис. 1.

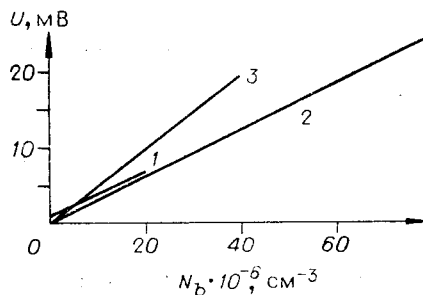


Рис. 2.

В наших экспериментах концентрация частиц белка составляла  $N_p \approx 10^{11} \text{ см}^{-3}$  и условие (3) хорошо выполнялось вплоть до  $N_p \approx 10^8 \text{ см}^{-3}$ , о чем свидетельствует поведение кривой 1 на рис. 2, демонстрирующей зависимость показаний вольтметра от концентрации бактерий *Str. lactis* в описанной дисперсно-коллоидной смеси. Видно, что при большой концентрации бактерий суммарный фотоэлектрический сигнал почти полностью определяется однократным рассеянием на бактериях и пропорционален  $N_b$ . При уменьшении концентрации бактерий становится заметным вклад рассеяния на белке. Задача выделения сигнала от бактерий легко решается в этом случае путем вычитания из суммарного сигнала вклада, даваемого белком, при учете того, что в рассеянии назад участвуют главным образом диспергированные мицеллы и субмицеллы белка.

Кривые 2, 3 описывают соответственно рассеяние на бактериях *Str. lactis* и *L. plantarum* в физиологическом растворе (солевой раствор). Измерения показали, что рассеяние в физиологическом растворе почти не отличается по своим характеристикам от рассеяния в чистой воде. Сигнал, регистрируемый от рассеяния в воде, является, таким образом, постоянной засветкой. Бактерии *L. plantarum* представляют собой удлиненные сфериды с полуосями 0,5 и 3–8 мкм. Ввиду примерного рассеяния на бактериях *L. plantarum* будет качественно такой же, что и при рассеянии на *Str. lactis* (т. е. в виде сильно вытянутого вперед лепестка с угловыми размерами  $Q_{\max} \approx 10^\circ$ ). Однако указанные выше различия в форме бактерий проявляются в углах наклона калибровочных кривых, что, в свою очередь, создает определенные возможности идентификации микроорганизмов по видам. Для этой цели можно также использовать различные значения угла  $\theta_{\max}$  у бактерий разных видов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ван де Хюлет Г. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИЛ, 1961.
2. Wyatt P. J. Differential Light Scattering: a Physical Method for Identifying Living Bacterial Cells.— Appl. Opt., 1968, vol. 7, p. 1879.
3. Timasheff S. N., Townsend P. Light Scattering. Physical Principles and Techniques of Protein Chemistry. Part B. N.-Y.—L.: Academic Press, 1970, p. 147.

Поступило в редакцию 5 ноября 1980 г.

УДК 621.378.3

П. И. Остроменский  
(Новосибирск)

#### ТЕПЛОЙ СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Информацию о параметрах упругих колебаний при динамических испытаниях объектов в настоящее время в большинстве случаев получают средствами тензометрии или используют пьезодатчики ускорений. Для оптимального размещения датчиков на исследуемой поверхности необходимо знать распределение узлов и пучностей упругих колебаний на этой поверхности. Для этих целей внедряются методы голографической интерферометрии. Существенным недостатком этих методов является необходимость обеспечения специальных условий измерения и хорошей виброизоляции голографической установки [1]. Обеспечение этих условий в цехах при динамических испытаниях объектов на вибраторах представляет собой сложную техническую проблему.