

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ СВЕТОРАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛОГИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ПРОТОЧНОГО ЦИТОМЕТРА

Юркин М. А., Гилев К. В., Строкотов Д. И.,  
Москаленский А. Е., Конохова А. И., Мальцев В. П.

*Институт химической кинетики и горения СО РАН,  
ул. Институтская 3, Новосибирск, 630090 Россия  
Новосибирский государственный университет,  
ул. Пирогова 2, Новосибирск, 630090 Россия; yurkin@gmail.com*

Сканирующий проточный цитометр — уникальный прибор, позволяющий измерять индикатрису светорассеяния одиночных частиц в потоке [1]:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [S_{11}(\theta, \varphi) + S_{14}(\theta, \varphi)] d\varphi, \quad (1)$$

где  $S$  — матрица Мюллера,  $\theta$  и  $\varphi$  — полярный и азимутальный углы рассеяния,  $\theta \in [10^\circ, 70^\circ]$ . Для многих биологических и медицинских применений требуется определение характеристик частиц, заданных определенной моделью, по измеренной индикатресе. Это представляет собой параметрическую обратную задачу светорассеяния, которая сводится к нелинейной регрессии. В наших приложениях для описания модели используется от 2 до 4 параметров, однако сумма квадратов как функция этих параметров имеет много локальных минимумов.

Для частиц имеющих сферическую симметрию (микрочастицы [2] и лимфоциты крови [3]) решение прямой задачи (вычисление индикатрисы) занимает порядка 1 мс, используя теорию Ми. Поэтому мы использовали метод глобальной оптимизации DiRect для нелинейной регрессии и Байесовский подход для оценки погрешности определяемых параметров.

Для частиц более сложной формы (тромбоцит — сплюснутый сфероид, эритроцит — двояковогнутый диск, и палочковидные бактерии) вычисление индикатрисы занимает порядка 1 мин, используя, например, метод дискретных диполей. Однако, в конкретных приложениях требуется характеристика многих объектов, описываемых одной моделью (например, сфероид). Поэтому для каждой из указанных выше моделей (описываемых 4 параметрами) мы рассчитали базу данных из  $10^5$ – $10^6$  индикатрис. При этом обработка экспериментальной индикатрисы сводится к поиску ближайшей в базе данных, а условная вероятность в Байесовском подходе вычисляется по расстоянию от экспериментальной индикатрисы до всех элементов в базе данных.

Работа частично поддержана РФФИ (грант 12-04-00737-а).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Maltsev V. P. Scanning flow cytometry for individual particle analysis // Rev. Sci. Instrum. 2000. V. 71. P. 243–255.
2. Konokhova A. I., Yurkin M. A., Moskalensky A. E., Chernyshev A. V., Tsvetovskaya G. A., Chikova E. D., Maltsev V. P. Light-scattering flow cytometry for identification and characterization of blood microparticles // J. Biomed. Opt. (accepted).
3. Strokotov D. I., Yurkin M. A., Gilev K. V., van Bockstaele D. R., Hoekstra A. G., Rubtsov N. B., Maltsev V. P. Is there a difference between T- and B-lymphocyte morphology? // J. Biomed. Opt. 2009. V. 14. 064036.