

НОВЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ

*Цыбров Евгений Германович,
Устинов Владислав Дмитриевич*

Студент, младший научный сотрудник

Факультет ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: tsybrovevgeniy@yandex.ru, vladustinov90@gmail.com

В данной работе рассматривается проблема измерения деформируемости эритроцитов методом лазерной дифрактометрии в сдвиговом потоке (эктацитометрии [2]). С момента создания этот метод использовался только для измерения средней деформируемости эритроцитов. Целью нашей работы является разработка алгоритма для измерения параметров распределения эритроцитов по деформируемости.

В работе эритроциты моделируются плоскими эллиптическими дисками. Эта модель опирается на изображения эритроцитов в сдвиговом потоке. Полуоси эллипсов a и b считаем случайными величинами и определяем формулами $a = a_0(1 + \varepsilon)$, $b = b_0(1 - \varepsilon)$, где a_0 и b_0 — средние размеры полуосей, ε — случайный параметр формы эритроцита, среднее значение которого полагаем равным нулю, $\langle \varepsilon \rangle = 0$,

$$s = a_0/b_0, \langle \varepsilon^2 \rangle = \mu, \langle \varepsilon^3 \rangle = \nu. \quad (1)$$

Здесь угловые скобки обозначают усреднение по ансамблю частиц. Эти величины характеризуют среднюю деформируемость (s), а также ширину (μ) и асимметрию (ν) распределения эритроцитов по деформируемости. Задача теории заключается в том, чтобы связать параметры (1) с характеристиками дифракционной картины.

Для решения этой задачи мы используем понятие линии изоинтенсивности (ЛИ), на которой интенсивность рассеянного света постоянна. ЛИ в нашей задаче лежит на периферии центрального максимума дифракционной картины и обладает следующими характеристиками:

$$f_0 = \frac{1}{4\beta^2} \frac{I}{I(0)}, D = y_p/x_p, C_1 = \sqrt{x_p/R(x_p)}, C_2 = \sqrt{y_p/R(y_p)}. \quad (2)$$

Здесь I — интенсивность света на данной ЛИ, $I(0)$ — интенсивность центрального максимума дифракционной картины; x_p, y_p —

координаты полярных точек ЛИ (см. рис. 1в); $R(x_p)$, $R(y_p)$ — радиусы кривизны ЛИ в полярных точках, $\beta = -0.4$ — постоянная величина (параметр функции Бесселя).

В работе получено уравнение для формы линии изоинтенсивности. Это уравнение имеет вид

$$fr^2 = (1 - r)^2 + \mu [H^2 + (r - 1)(-2r + 3(1 - H^2))] + \nu H [-2r + 3(1 - H^2) - 5(r - 1)(1 - H^2)], \quad (3)$$

где $f = f_0(1 - 2\mu)$ и $H = \cos 2\varphi$; r и φ — полярные координаты.

В результате работы выведены новые дифрактометрические уравнения, которые связывают характеристики ансамбля эритроцитов с параметрами наблюдаемой дифракционной картины. Представлен новый алгоритм обработки данных, позволяющий измерять среднюю деформируемость, а также ширину и асимметрию распределения эритроцитов по деформируемости в исследуемом образце крови. Работа нового алгоритма проверена методом численного моделирования на примере бимодального по деформируемости ансамбля эритроцитов. Показано, что новый алгоритм обеспечивает более высокую точность измерения по сравнению с алгоритмом, разработанным нами ранее в работах [1,3].

Иллюстрации

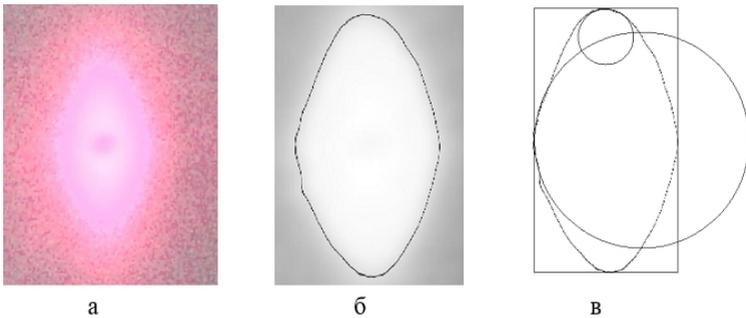


Рис. 1. Дифракционная картина (а), линия изоинтенсивности (б) и круги кривизны линии изоинтенсивности в полярных точках (в).

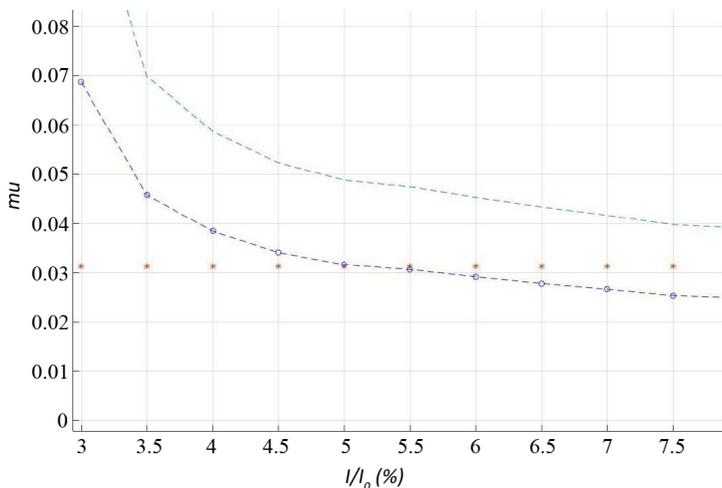


Рис. 2. Параметр μ , характеризующий разброс эритроцитов по деформируемости, как функция относительной интенсивности рассеянного света на линии изоинтенсивности. Кривые получены путем анализа дифракционной картины, построенной для модельного (бимодального) ансамбля эритроцитов. Пунктирная линия построена с использованием ранее используемого алгоритма. Линия, показанная кружками, - с использованием нового алгоритма. Звездочками показано значение параметра μ , вычисленное при заранее известных параметрах.

Литература

1. Никитин С. Ю., Приезжев А. В., Луговцов А. Е., Устинов В. Д. Измерение асимметрии распределения эритроцитов по деформируемости методом лазерной эктацитометрии // Квантовая электроника. 2014. Т. 44, № 8, с. 774 – 778.
2. Bessis M., Mohandas N. A diffractometric method for the measurement of cellular deformability // Blood Cells. 1975. Vol. 1, P. 307-313.
3. Nikitin S. Yu., Priezzhev A. V., Lugovtsov A. E., Ustinov V. D., Razgulin A. V. Laser ektacytometry and evaluation of statistical characteristics of inhomogeneous ensembles of red blood cells // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2014. Vol. 146, P. 365 – 375.