

Д. В. Кучура, О. В. Царюк

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗОНДИРОВАНИЯ СЛОЯ КРОВИ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Исследование крови является актуальным и перспективным из-за роста в настоящее время числа людей с заболеваниями, связанными с системой кровообращения человека. Оптические методы исследования крови с применением лазерных источников зондирования, обладая большой точностью и чувствительностью, практически не изменяя объект, являются наиболее востребованными в таких случаях. Особое место среди них занимают методы, учитывающие поляризацию излучения, с помощью которых можно получить наиболее полную информацию об оптических свойствах исследуемого объекта, а по ним о его структурных параметрах, в случае крови – о концентрации, размерах, форме и степени агрегации эритроцитов и т. д.

Обычно кровь при ее исследовании помещают в кювету и по нормали к ней направляют зондирующее излучение. В этом случае к излучению, рассеянному кровью, по параметрам которого судят о ее свойствах, добавляется излучение, отраженное на внутренних границах кюветы и рассеянное на шероховатостях ее поверхностей, называемое фоновым, ограничивающее чувствительность метода и являющееся существенным мешающим фактором. Излучение, рассеянное слоем крови, претерпевает полное внутреннее отражение на границе со стенкой кюветы в широком диапазоне углов наблюдения и не попадает на приемник [1].

Для минимизации искажений информации об объекте, обусловленных этими факторами, в работе [2] предложен метод диагностики состава и состояния крови. Он основан на использовании линейно поляризованного освещдающего лазерного излучения и оптимальных условиях измерения поляризационных характеристик рассеянного света. Суть метода состоит в том, что линейно поляризованное в плоскости падения лазерное излучение направляется на поверхность кюветы с исследуемым образцом крови под углом Брюстера, а рассеянное излучение измеряется в направлениях, вблизи нормали к поверхности. Плоскости падения и наблюдения совпадают. Измерения параметров Стокса (I, P_1, P_2, P_3) показали, что излучение, рассеянное передней кварцевой стенкой кюветы толщиной 2 мм, как и зондирующее излучение, линейно поляризовано. Из такого поведения параметров Стокса следует, что рассеяние на шероховатостях поверхностей кюветы однократное и представляет собой, в первом приближении, Френелевское отражение на микрогранях, обуславливающее интенсивность фона при зондировании компонентой ли-

нейно поляризованной в плоскости падения в два раза меньшую, чем для ортогональной компоненты. Однако эта численная оценка влияния фона на измерения при зондировании линейно поляризованным излучением не была исследована экспериментально для случаев нормального и под углом Брюстера падения излучения вертикальной и горизонтальной поляризации. Такое исследование и является целью данной работы.

Эксперименты проводились с использованием лазерного гониометрического стокс-поляриметра, который описан в работе [3]. Были измерены параметры Стокса излучения фона и рассеянного цельной венозной кровью здорового человека при углах падения 0 и 55.5° зондирующего излучения горизонтальной и вертикальной поляризации на кварцевую кювету со слоем крови толщиной 1,08 мм. Плоскости падения и наблюдения совпадали. Регистрация рассеянного излучения производилась в пределах углов наблюдения β от минус 25 до $+80^\circ$. Знаки + или – относятся к углам, отсчитываемым в сторону зеркального отражения или в сторону падающего луча относительно нормали к кювете соответственно. Перед каждыми двумя измерениями из шести кювета вынималась из специальной оправы, закрепленной на гониометрическом столике стокс-поляриметра и несколько раз встряхивалась, чтобы не допустить оседания эритроцитов на ее дно, а затем вставлялась снова в оправу. Время измерения составляло одну минуту. Полученные результаты представлены на рис. 1, 2.

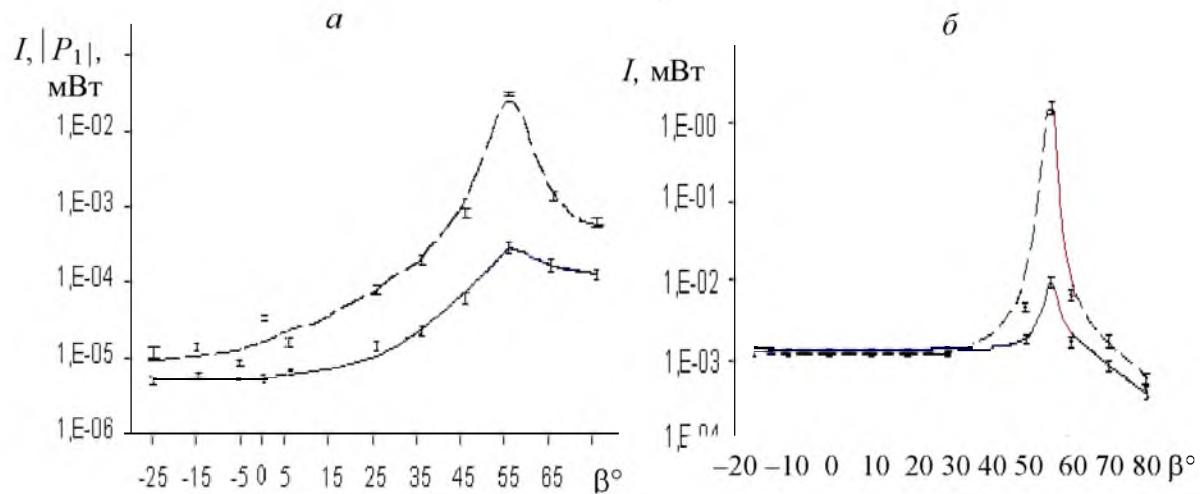


Рис. 1. Зависимость интенсивности и модуля второго параметра Стокса рассеянного излучения от угла наблюдения при угле падения 55.5° излучения горизонтальной (—) и вертикальной (----) поляризации на стенку кюветы (а), цельную кровь в кювете (б)

Как показали измерения, для стенки кюветы первые два параметра Стокса I , $|P_1|$, определяющие всю интенсивность регистрируемого фона и интенсивность линейно поляризованного с азимутом ноль градусов или 90° излучения фона соответственно, были практически равными. Значения параметров P_2 , P_3 , которые характеризуют интенсивности линейно поляризованной с азимутом 45° и циркулярной компонент, не менее чем на два порядка различались в случаях зондирующего излучения горизонтальной или вертикальной поляризаций (рис. 1 *a*, 2 *a*).

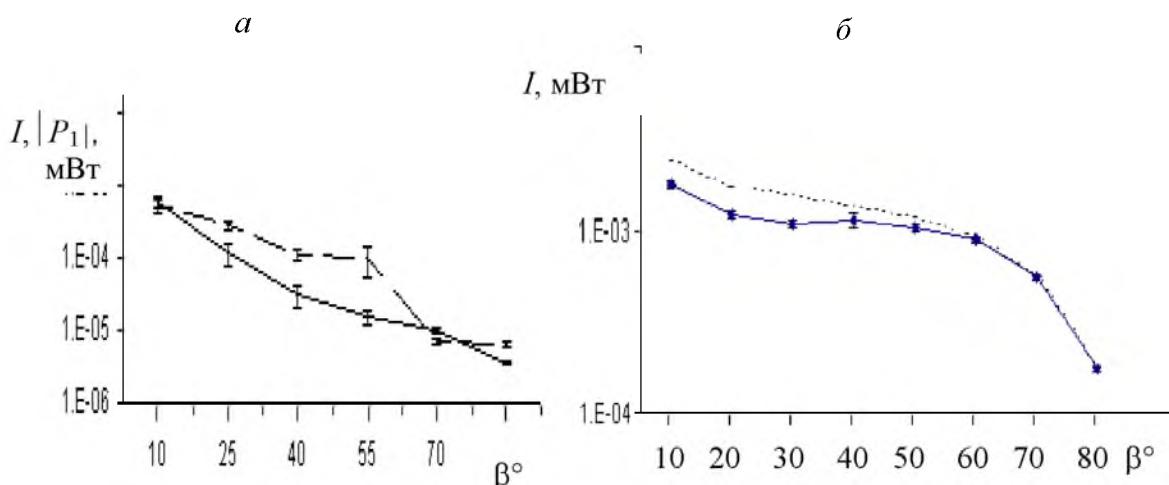


Рис. 2. Зависимость интенсивности и модуля второго параметра Стокса рассеянного излучения от угла наблюдения при нормальном угле падения излучения горизонтальной (—) и вертикальной (----) поляризации на стенку кюветы (*а*), цельную кровь в кювете (*б*)

Излучение же, рассеянное цельной венозной кровью здорового человека, было практически деполяризованным. Степень поляризации не превышала 0.1 при вертикальной или горизонтальной поляризации падающего под углом Брюстера или по нормали излучения, а углах наблюдения менее или более 40° соответственно. Первый параметр Стокса превосходил остальные более чем на два порядка, как при падении излучения под углом Брюстера на кювету с кровью и углах наблюдения менее 40° (рис. 1 *б*), так и для падения по нормали, начиная с угла наблюдения 40° и более (рис. 2 *б*). Как видно (см. рис. 1 и рис. 2), интенсивность излучения, рассеянного кровью, при зондировании излучением ортогональной поляризации под углом Брюстера и углах наблюдения менее 40° больше, примерно на порядок, значения интенсивности излучения, рассеянного при освещении ее по нормали, для углов наблюдения более 40° , которые характеризуются наименьшим фоном. Интенсивность

же фона при зондировании излучением вертикальной поляризации под углом Брюстера превосходит интенсивность фона в случае горизонтальной поляризации падающего излучения в пределах углов наблюдения от минус 5 до $+5^\circ$ в 3–4 раза, а по расчетам в 2 раза. Это объясняется как не учетом дифракции на микрогранях поверхностей кюветы, так и отступлением используемого в расчетах распределения по углам наклонов микрограмм от реального. По сравнению со случаем нормального падения происходит увеличение до сорока раз отношения интенсивности излучения, рассеянного кровью, к интенсивности излучения, рассеянного шероховатостями стенки кюветы.

Таким образом, показано, что при зондировании под углом Брюстера находящегося в кварцевой кювете слоя цельной венозной крови толщиной 1.08 мм излучением Не-Не-лазера с $\lambda = 0.63$ мкм, линейно поляризованным в плоскости падения, и углах наблюдения в диапазоне от минус 5 до $+5^\circ$ относительно нормали к поверхности кюветы повышается в четыре раза чувствительность измерения поляризационных характеристик по сравнению со случаем ортогональной поляризации. По сравнению же с обычно применяемым падением по нормали – увеличивается отношение полезного сигнала к фону в сорок раз. При этом практически все падающее излучение вводится через стенку кюветы к объекту и отсутствует полное внутреннее отражение на ее границах. Выявленные закономерности позволяют не только повысить чувствительность поляризационного метода диагностики крови, но и оптических методов диагностики, где не учтена поляризация зондирующего лазерного излучения, могут использоваться при исследовании взаимодействия лазерного излучения с биологическими объектами.

Литература

1. Буй Л. М., Хайруллина А. Я., Олейник Т. В. Учет граничных условий при определении оптических характеристик агрегированной крови // Опт. и спектр. 1999. Т. 87. С. 1004–1009.
2. Науменко Е. К., Царюк О. В. Применение поляризованного лазерного излучения для зондирования крови // Лазерная и оптико-электронная техника. Сб. научн. ст. Вып. 7. Мин.: БГУ, 2002. С. 162–166.
3. Дlugунович В. А., Снопко В. Н., Царюк О. В. Лазерный гониометрический стокс-поляриметр // ЖПС. 1999. Т. 66, № 6. С. 869–874.