

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 освещающего 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 каждым 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.

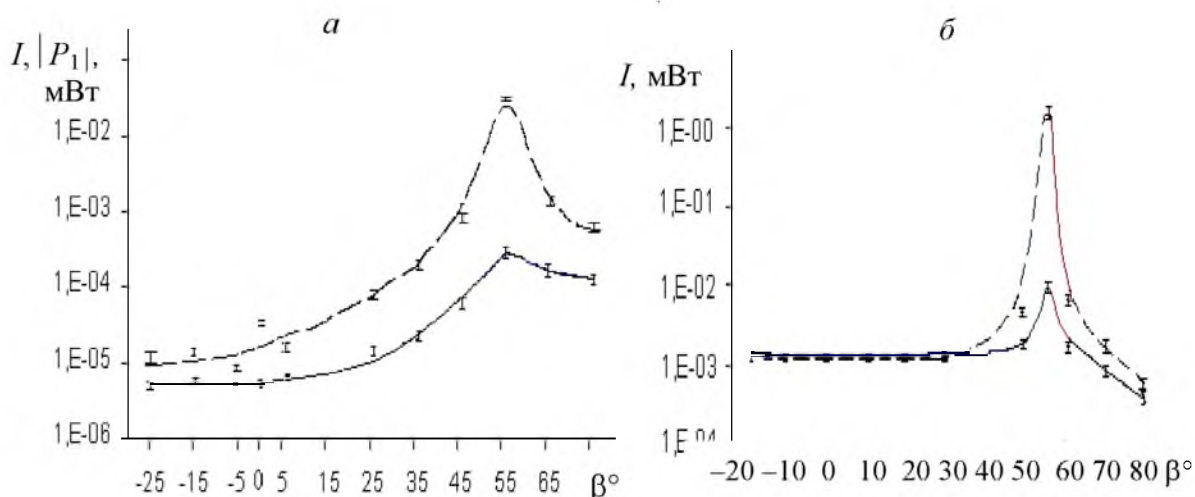


Рис. 1. Зависимость интенсивности и модуля второго параметра Стокса рассеянного излучения от угла наблюдения при угле падения 55.5° излучения горизонтальной (—) и вертикальной (-----) поляризации на стенку кюветы (а), цельную кровь в кювете (б)

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 а, 2 а).

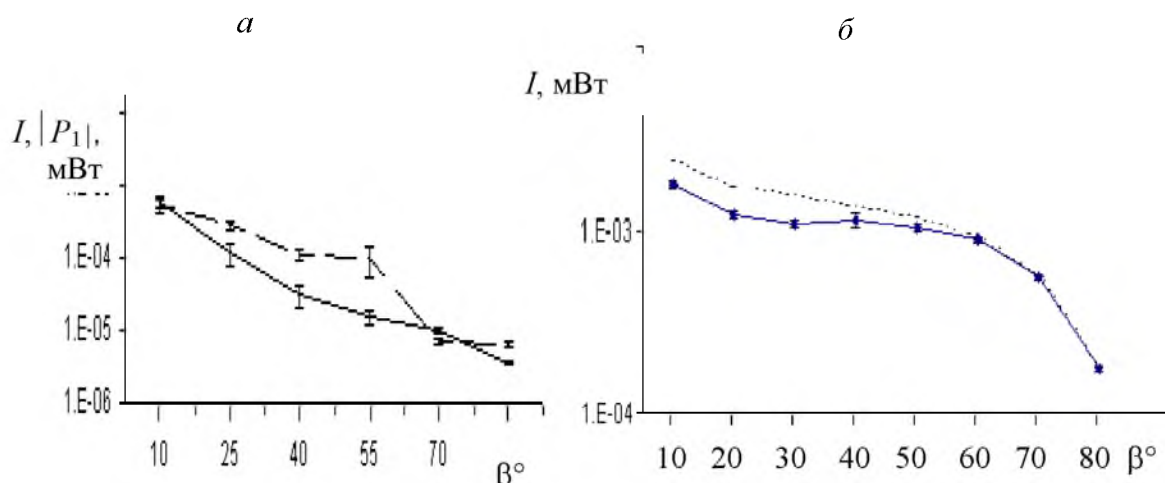


Рис. 2. Зависимость интенсивности и модуля второго параметра Стокса рассеянного излучения от угла наблюдения при нормальном угле падения излучения горизонтальной (—) и вертикальной (-----) поляризации на стенку кюветы (а), цельную кровью в кювете (б)

Излучение же, рассеянное цельной венозной кровью здорового человека, было практически деполаризованным. 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° 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 микрограней 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 He-Ne-лазера с $\lambda = 0.63$ мкм, линейно поляризованным в плоскости падения, и углах наблюдения в диапазоне от минус 5 до +5° 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.* Мн.: БГУ, 2002. С. 162–166.
3. Длугунович В. А., Снопко В. Н., Царюк О. В. Лазерный гониометрический стокс-поляриметр // *ЖПС.* 1999. Т. 66, № 6. С. 869–874.