

В.И. Букатый, Я.В. Павлова, С.И. Сакович, Г.Г. Устинов
**Угловое распределение излучений
гелий-неонового лазера
при прохождении через слой крови**

Рассмотренные ранее эффекты и результаты исследований оптики биотканей, с разнообразной структурной организацией, показывают необходимость углубленного изучения их оптических характеристик. К настоящему времени качественная (а иногда и количественная) картина распространения света в биотканях может быть описана достаточно полно, что позволяет реализовывать ту или иную стратегию оптической диагностики, терапевтического или хирургического воздействия. Однако в ряде случаев количественные оценки дозы облучения или диагностического параметра оказываются затруднительными из-за отсутствия надежных данных для оптических параметров биотканей или их изменения в процессе взаимодействия света с объектом.

При распространении света в крови важную роль играет рассеяние и поглощение. Рассеяние света кровью связано с ее структурой, которая состоит из большого числа случайно распределенных в объеме рассеивающих центров. Методы упругого рассеяния обычно используют для исследования форменных элементов крови, тканей глаза и т.д. Процесс рассеяния приводит к изменениям в пространственном распределении интенсивности света, поэтому одной из основных характеристик при изучении светорассеяния является индикатриса, определяющая интенсивность света как функцию угла рассеяния. Измерение индикатрисы рассеяния заключается в освещении слоя крови, помещенного в кювету, пучком света и регистрации интенсивности рассеянного веществом излучения под различными углами. Определение индикатрисы рассеяния, а также распределения интенсивности прошедшего света по сечению выходного пучка дает возможность качественно и количественно судить о размерах зоны влияния излучения на кровь.

Для большого класса задач, связанных с прохождением излучения через рассеивающие среды, актуальной является информация о трансформации светового пучка по угловой и радиальной переменным [1]. Наряду с экспериментальными исследованиями в данном направлении принимаются попытки построения строгой теории рассеяния света в биотканях, а также компьютерное моделирование данного

процесса. Группой ученых МГУ имени М.В. Ломоносова подробно рассмотрена теория многократного рассеяния света для случая движущихся в сдвиговом потоке эритроцитов (модель крови) и компьютерное моделирование процесса светорассеяния биотканью, которые важны как для проведения реальных экспериментов, так и для правильной интерпретации получаемых экспериментальных результатов [2].

В качестве угловой зависимости интенсивности рассеянного света для элемента рассеивающей структуры целесообразно выбрать индикатрису рассеяния. В плотноупакованной системе частиц, какую представляет собой кровь, индикатриса рассеяния может несколько отличаться от соответствующего значения для изолированной частицы. Такие отличия вызываются интерференционным взаимодействием рассеянного соседними частицами излучения. Из анализа формулы Тринкса следует, что в зависимости от расстояния между двумя малыми частицами и их размеров интенсивность рассеянного света может быть как больше, так и меньше по сравнению с интенсивностью света, рассеянного двумя независимыми частицами [3]. В плотноупакованной системе расположение не может быть совершенно случайным. В их расположении будет наблюдаться упорядоченность ближнего порядка, степень которой тем выше, чем выше плотность рассеивающих центров и чем уже их распределение по размерам. Для изучения закономерностей прохождения излучения через среды с плотной упаковкой удобно выбрать кровь. С одной стороны, распространение излучения через кровь представляет интерес для клинической медицины в качестве диагностики заболеваний, с другой стороны, отработанные методики расчета многократного рассеяния могут быть применены к другим плотноупакованным средам со схожими оптическими свойствами.

Целью работы являлось экспериментальное изучение процесса распространения лазерного излучения в слое крови и построение индикатрисы рассеяния для различных концентраций эритроцитов в одном микролитре крови. Оптический квантовый генератор (гелий-неоновый лазер с длиной волны излучения 630 нм)

в качестве осветителя выбран из следующих соображений:

- малая угловая расходимость лазерного пучка позволяет обойтись без сложной оптической системы, которая необходима при использовании в качестве осветителей других источников;
- благодаря высокой удельной плотности энергии лазерного луча при исследовании можно ограничиться сравнительно небольшим объемом крови.
- монохроматичность источника существенно упрощает теоретические расчеты индикатрисы в малых углах, которые необходимы для сопоставления результатов эксперимента с теорией;

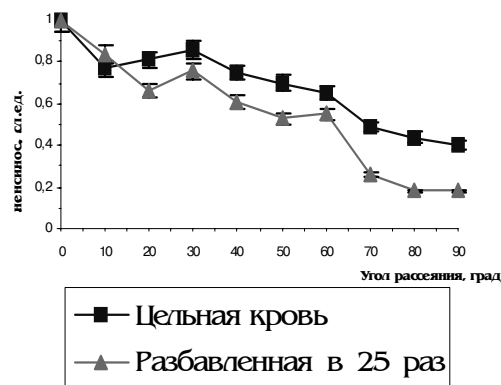
Световой пучок ОКГ проходит через кювету с кровью и попадает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-68), перед которым расположена система из трех диафрагм (угол поля зрения 1°). Данная система пропускает лучи в малом телесном угле. Сигнал с ФЭУ идет на регистрирующий прибор (вольтметр цифровой постоянного тока Ц 1518). Перемещая диафрагму совместно с ФЭУ перпендикулярно осевому лучу, можно регистрировать свет, рассеянный под разными углами. Измерения интенсивности проводились через каждые пять градусов. Зависимости интенсивности от угла рассеяния приведены на рисунке.

Эксперименты проводили при различных концентрациях крови. Число эритроцитов определялось с использованием сетки Горяева [4]. Она состоит из 225 больших квадратов, 25 из которых разделены на малые, по 16 квадратов в каждом. Подсчет эритроцитов производится в пяти больших квадратах, разделенных на малые.

Количество эритроцитов в 1 мкл крови рассчитывается по формуле:

$$x = \frac{a \cdot 4000 \cdot b}{c},$$

где x – количество эритроцитов в одном микролитре крови; a – число эритроцитов, сосчитанных в определенном количестве малых квадратов; c – количество малых квадратов, в которых считались эритроциты; b – степень разведения крови; $1/4000$ – объем малого квадрата (умножая его на 4000, приводим к объему одного микролитра крови)



Зависимость интенсивности прошедшего излучения от угла рассеяния

Таким образом, в работе получены распределения интенсивности светового потока после прохождения слоя крови толщиной $d = 1,08$ мм и построены индикатрисы рассеяния. Относительная погрешность измерения составляет 5%. Основной вклад в ошибку экспериментов вносит погрешность измерительных приборов.

Литература

1. Букатый В.И., Кронберг Т.К., Михеев Д.В. Пространственное и угловое распределение светового поля в ансамбле частиц с сильно вытянутой индикатрисой рассеяния // Оптика атмосферы и океана. 2001. №3.
2. Лопатин В.В., Приезжев А.В., Федосеев В.В. Численное моделирование процесса распространения света в мутных биологических средах // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №7.
3. Королевич А.Н., Хайруллина А.Я., Шубочкин Л.П. Матрица рассеяния монослоя оптически «мягких» частиц при их плотной упаковке // Оптика и спектроскопия. 1990. Т. 68.
4. Козловская А.В., Николаев А.Ю. Учебное пособие по клиническим лабораторным методам исследования. М., 1985.