

*Я.В. Павлова, С.И. Сакович*

# **Определение оптической глубины проникновения низкоинтенсивного лазерного излучения в плотноупакованные дисперсные среды на примере венозной крови человека**

Одна из причин того, что излучение проникает на ограниченную глубину, состоит в поглощении лазерного излучения биологическими тканями. Одновременно с поглощением излучения происходит ряд других физических процессов: отражение света от поверхности между двумя средами, преломление при прохождении границы, разделяющей две оптически разнородные среды, рассеяние света частицами тканей и др.

Если наряду с поглощением происходит рассеяние света, то расстояние, на котором в результате совместного действия этих процессов излучение затухает в  $e$  раз, называют глубиной ослабления или проникновения излучения  $L = \frac{1}{\alpha_{осл}}$ . Обратная величина –

коэффициент ослабления  $\alpha_{осл}$ . Оптической глубиной проникновения излучения называется толщина слоя, на которой отличительные свойства лазерного излучения становятся идентичными свойствам обычных тепловых и газоразрядных источников.

Значение коэффициента ослабления излучения может быть определено экспериментально с помощью закона Бугера. Для лазерного излучения с длиной волны  $\lambda = 0,63$  мкм при прохождении через цельную венозную кровь (концентрация эритроцитов  $N = 3,7 \cdot 10^6$  1/мм<sup>3</sup>) коэффициент ослабления равен  $\alpha = 8,6$  мм<sup>-1</sup>. При таком значении коэффициента  $\alpha$  глубина проникновения излучения в кровь человека составляет  $L = 0,11$  мм. Оптическую глубину проникновения можно определить, используя значения степени поляризации и степени когерентности лазерного излучения при прохождении через слой крови.

Для измерения степени пространственной когерентности была создана экспериментальная установка с использованием интерференционной схемы Юнга [1]. Излучение гелий-неонового лазера (He-Ne типа ЛГ-75) при прохождении через кювету с кровью расширяется и коллимируется посредством линзы, после чего направляется на экран. Отверстия с диаметрами  $d = 0,1$  мм в экране становятся источниками вторичных волн, которые собираются линзой в фокальную плоскость, где расположена диафрагма. Интенсивность света в плоскости диафрагмы определяется по показаниям вольтметра постоянного тока мВ (типа

Щ-1516), подключенного к нагрузке фотоумножителя ФЭУ-68. Таким способом определялась когерентность излучения гелий-неонового лазера при прохождении через воздух. Затем на пути пучка помещалась кювета с кровью.

Измерение степени временной когерентности излучения при прохождении через кровь проводилось на экспериментальной установке с использованием опыта Майкельсона [1]. Свет от источника параллельным пучком падает на полупрозрачную пластинку. Пучок разделяется на две взаимно перпендикулярных части. Отраженный пластинкой пучок падает на зеркало, отражается назад, вновь попадает на пластину, где снова разделяется на две части. Одна из них идет к источнику и не представляет интереса, а другая попадает на линзу. Таким образом, от одного источника получаются два пучка примерно одинаковой интенсивности, которые распространяются после разделения пластинкой, затем снова встречаются и образуют интерференционную картину. Степень когерентности лазерного излучения определяется как видимость интерференционной картины.

Измеряя интенсивность в максимуме и соседнем минимуме интерференционной картины, можно рассчитать степень пространственной когерентности как видимость интерференционной картины, т.е.

$$v_{(p)} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (1)$$

где  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$  – максимальная и минимальная интенсивности в окрестности точки Р.

Для измерения степени поляризации была создана установка с использованием гелий-неонового лазера (рис. 1). Излучение гелий-неонового лазера, проходя через слой крови, ослабляется. Затем с помощью линзы Л прошедшее излучение фокусируется на диафрагму Д. С использованием диафрагмы удастся отсечь рассеянный свет и определить степень поляризации только прямого прошедшего пучка. После кюветы К луч проходит через поляризатор П, который не пропускает волны с перпендикулярной поляризацией. Этот пучок затем попадает на фотодиод ФП (ФД-24), подключенный к вольтметру постоянного тока мВ (типа Щ-1516), с помощью которого регистрируется изменение сигнала. Вращая поляриза-

тор  $P$ , измеряем минимальное и максимальное значение интенсивности. Затем вычисляем степень поляризации по формуле

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

где  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$  – максимальная и минимальная интенсивности.

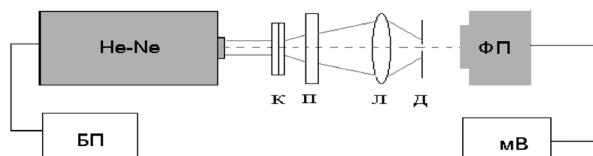


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения степени поляризации

В ходе эксперимента по определению степени пространственной и временной когерентности были получены зависимости, приведенные в работе [1]. В ходе экспериментов использовались кюветы с толщинами от 0,1 до 1,08 мм. Степень пространственной когерентности лазерного излучения при прохождении через воздух составила 0,9. При прохождении через слои крови, равные 0,1 и 1,08 мм, она составила 0,82, 0,13 соответственно. Степень временной когерентности в указанном диапазоне толщин слоев крови изменялась от 60 до 40%. Проведенные эксперименты показывают, что излучение при прохождении через слой крови становится менее когерентным. Другими словами, эффекты биостимуляции и лечебного воздействия неоднозначно зависят от когерентности излучения, что не противоречит результатам подобных экспериментов [2].

При измерении степени поляризации были получены следующие результаты. При толщине слоя крови 0,1 мм и длине волны  $\lambda = 0,63$  мкм степень

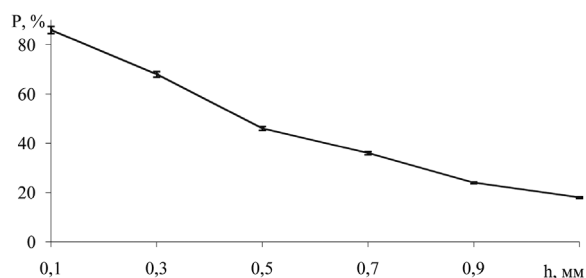


Рис. 2. Зависимость степени поляризации лазерного излучения от толщины слоя крови

поляризации составила 86%, при 1,1 – 18%. Данная зависимость представлена на рисунке 2.

По полученному графику и графикам из [1] можно определить значения степеней когерентности и поляризации для толщины слоя  $L = 0,11$  мм. Видно, что на такой глубине лазерное излучение все еще обладает своими основными свойствами. При данной толщине слоя крови степень когерентности составляет  $\rho = 82\%$ , степень поляризации –  $P = 86\%$ . Выберем условный уровень  $e$ , т.е. такой уровень, на котором значения степеней когерентности и поляризации уменьшаются в  $e$  раз. Такому уровню соответствует глубина, на которой значения степеней когерентности и поляризации будут равны 37%. По рисункам можно определить, что данному уровню соответствует глубина 0,7 мм. Следовательно, можно утверждать, что при прохождении слоя крови лазерное излучение теряет свои основные свойства на глубине  $L = 0,7$  мм.

Таким образом, при длине волны  $\lambda = 0,63$  мкм и глубине слоя  $L = 0,7$  мм степень когерентности и поляризации уменьшается в  $e$  раз и, следовательно, лазерное излучение становится идентичным по терапевтическому эффекту излучению обычных тепловых и газоразрядных источников.

*Авторы благодарят профессора В.И. Букатого за помощь в работе.*

## Библиографический список

1. Павлова, Я.В. Определение степени когерентности лазерного излучения при прохождении через кровь человека / Я.В. Павлова, С.И. Сакович, П.П. Черненко // Известия АлтГУ. – 2007. – №1.

2. Кару, Т.И. Зависимость биостимуляционного эффекта от когерентности лазерного излучения / Т.И. Кару, Г.С. Календо, В.С. Летохов // Квантовая электроника. – 1981. – Т. 8, №9.