

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра оптики и биофотоники
наименование кафедры

**«Лазерный метод определения спектральной чувствительности колбочек глаза
человека *in vivo*»**

наименование темы выпускной квалификационной работы

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4082 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

Института физики

Дудакова Игоря Сергеевича

Научный руководитель

доцент, д. ф.-м. наук



Акчурин Г.Г.

подпись, дата

Зав. кафедрой

профессор, д. ф.-м. наук



Тучин В.В.

подпись, дата

Введение.

Настоящая бакалаврская работа посвящена лазерному методу определения спектральной чувствительности колбочек глаза человека *in vivo*»

Данная задача представляет особый интерес, поскольку современные методы цветной визуализации используются в цифровых информационных технологиях, таких как сотовые телефоны, планшеты и мониторы компьютеров. При этом цветные пиксельные изображения создаются с помощью излучения микросветодиодов с управляемой яркостью, квантовых точек, поляризационных эффектов в жидкокристаллических кристаллах. При этом в результате пространственного смешения цветов в сетчатке глаза создаются ощущения пространственно-непрерывного цветного изображения. При этом каждая из фирм сохраняет соответствующие методы получения цветного изображения как запатентованные. Однако в отличие от живых систем спектральные характеристики различных типов фотодетекторов как полупроводниковых, так вакуумных известны и лежат в основе внешнего и внутреннего фотоэффекта, за физический механизм которых 1921 году Эйнштейн получил Нобелевскую премию. Однако современный уровень нейрофизиологии зрения не позволяет измерить спектральную чувствительность фоторецепторных клеток сетчатки глаза человека (отдельных колбочек и палочек), то есть экспериментально установить, как связана интенсивность оптического излучения на разных длинах волн видимого диапазона с числом генерируемых нервных импульсов в ганглиозных клетках сетчатки.

Целью бакалаврской работы являлось экспериментальное исследование возможности определения спектральной чувствительности «красных» и «зеленых» колбочек макулярной области сетчатки глаза человека *in vivo* на основе предлагаемого метода пространственного

оптического смещения когерентных гауссовых пучков создаваемых гелий-неоновым газоразрядным лазером с длиной волны излучения 633 нм и излучением твердотельного микролазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом с внутрирезонаторным генератором второй гармоники с длиной волны 532 нм при взаимном регулировании выходной оптической мощности от единиц милливатт до микроватт с соизмеримой расходимостью при контроле спектра цветового ощущения с помощью дифракционного спектрометра ДФС-8

Задачами выполняемой работы являются: 1) Апробировать лазерный метод определения спектральной чувствительности колбочек глаза человека *in vivo* на основе оптического пространственного смещения гауссовых оптических пучков излучения гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм и твердотельного микролазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом с генератором второй гармоники с длиной волны 532 нм. 2) Экспериментально установить, что изменением интенсивности излучения лазеров возможно получение непрерывного изменения цветового ощущения *vivo* в указанном диапазоне от красного до зеленого цвета, идентифицируемого с помощью спектрометра ДФС-8.

Материалами исследования является пучок излучения гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм и твердотельного микролазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом с генератором второй гармоники с длиной волны 532 нм.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю Г.Г. Акчуруну за постановку задач, помощь при анализе результатов и полезные обсуждения. Так же за помощь в подготовке и проведении экспериментов, ценные рекомендации и критику.

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения, 2 глав, заключения и списка используемых источников, включающего 5 наименований. Работа изложена на 40 листах машинописного текста, содержит 22 рисунка и 4 таблицы

Основное содержание работы. Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость результатов.

Первая глава состоит из трех подразделов. В первом подразделе говорится о элементах анатомии и линейной физики глаза. На рисунке 1. представлен горизонтальный разрез глазного яблока человека. Спереди находится роговица — прозрачная оболочка, которая образует почти сферическую выпуклость и занимает примерно 1/6 поверхности глаза. По краям роговица переходит в склеру (белок глаза), покрывающую остальную поверхность глазного яблока.

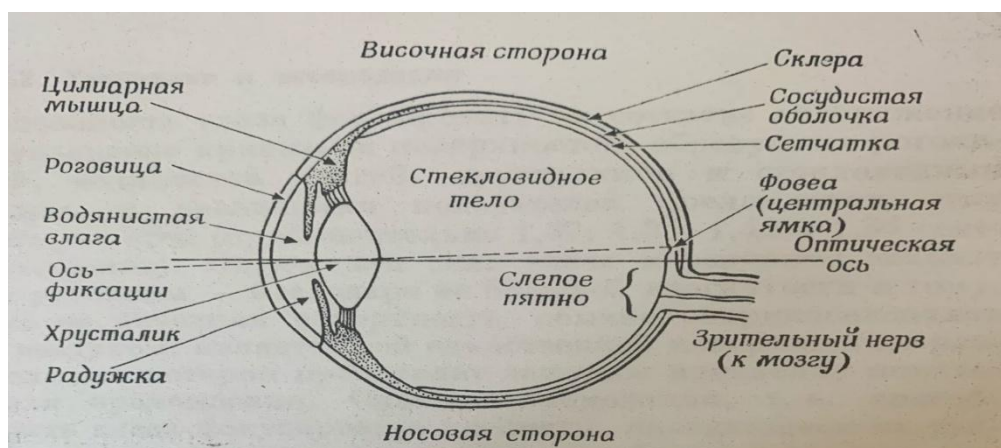


Рисунок 1. Горизонтальный разрез правого глаза человека.

Пространство между хрусталиком и роговицей заполнено так называемой водянистой влагой, которая состоит на 99% из воды и содержит соли и белки. Основное внутриглазное пространство позади хрусталика занято прозрачной студенистой массой — стекловидным телом, которое

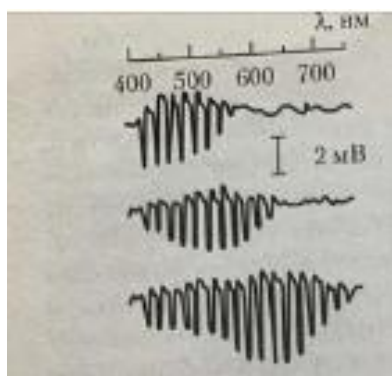
также состоит главным образом из воды. В глазном яблоке нет жестких частей, и его почти сферическая форма с радиусом кривизны около 12 мм поддерживается за счет давления внутренних жидкостей (внутриглазного давления).[1]

Второй подраздел посвящен цветному зрению. Спектры поглощения зрительных пигментов можно измерять тремя способами:

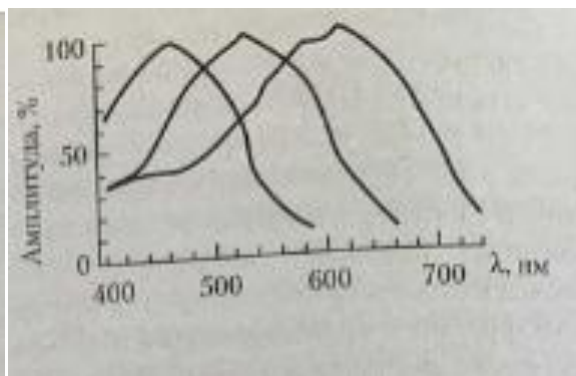
1) Зрительные пигменты экстрагируют из сетчатки мягкими детергентами и затем измеряют суммарный спектр поглощения всех пигментов;

2) Проводят микроспектрофотометрию отдельных фоторецепторных клеток;

3) У животных в неподвижном глазу измеряют спектр отражения света от задней стенки глаза до и после засветки мощной вспышкой монохроматического света: последняя приводит к преимущественному выцветанию той формы пигмента, которая поглощает свет данной длины волны (например, после освещения ярким красным светом выцветает преимущественно красный пигмент и в спектре отражения мы его не увидим). Таким образом, можно исследовать спектр поглощения зрительных пигментов в неподвижном глазу без всяких последствий для испытуемого. Данные разных методов дополняют друг друга.



а)



б)

Рисунок 2. Три типа колбочек в сетчатке карпа. РРП, отводимые микроэлектродами от колбочек, дают три типа спектров действия: а) Вспышки, индуцировавшие РРП, длились 0,3 с, а последующий темновой период - 0,6 с, длину волны каждой последующей вспышки меняли на 20 нм, а интенсивность сохраняли постоянной; б) Усредненные по многим измерениям спектры действия РРП трех видов колбочек. [2]

Третий подраздел включает в себя спектральную чувствительность.

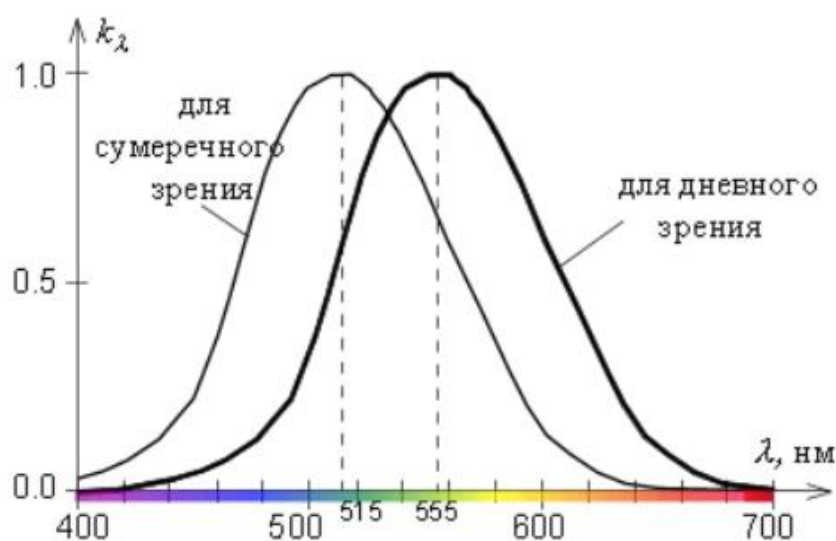


Рисунок 3. Кривая спектральной чувствительности глаза.

В основе восприятия цвета лежат сложные физико-химические процессы, совершающиеся в зрительных рецепторах. Различают три типа «колбочек», проявляющих наибольшую чувствительность к трем основным цветам видимого спектра:

- красно-оранжевому (600 – 700 нм);
- зеленому (500 – 600 нм);
- синему (400 – 500 нм).

Особенности цветовой чувствительности клеток определяются различиями в зрительном пигменте. Комбинации возбуждений этих приемников разных цветов дают ощущения всей гаммы цветовых оттенков. [3]

Воспринимаемый человеком цвет какой-либо поверхности или предмета зависит от длин волн световых лучей, которые данная поверхность или данный предмет отражают. Если поверхность предмета поглощает определенные световые лучи, то в соответствующие цвета (цвета поглощенных лучей) она в восприятии человека не окрашивается. Ее цвет воспринимается как хроматическая окраска отраженных ею лучей. Так, например, если некоторая поверхность отражает лучи с длиной волны от 380 до примерно 400 нм, а остальные поглощает, то ее цвет будет казаться наблюдателю синим или фиолетовым. Если соответствующая поверхность отражает только лучи с длиной волны, равной примерно 500—530 нм, то ее цвет будет восприниматься как зеленый. Если же поверхность отражает лишь самые длинные лучи — 740—780 нм, а остальные поглощает, то ее цвет наблюдатель воспримет как красный. При поглощении всех световых лучей зрительно воспринимаемого диапазона поверхность будет казаться наблюдателю черной, а при отражении всех лучей — белой.[4]

Вторая глава состоит из двух подразделов, в первом описывается спектральная разрешающая способность глаза человека. Предложен и апробирован спектральный лазерный ретинометр, позволивший измерить фовеальную остроту зрения человека для «красных», «зеленых» и «синих» колбочек сетчатки. В результате проведенных экспериментальных исследований на добровольцах впервые удалось установить важный физиологический факт, что плотность матрицы «цветных» фоторецепторных клеток в фовеальной области сетчатки глаза человека равномерная, в отличие от периферии. Модификация метода позволила определить макулярную пространственную разрешающую способность глаза для колбочек, а также метод определения остроты периферического зрения при детектировании лазерного излучения палочками сетчатки глаза человека.

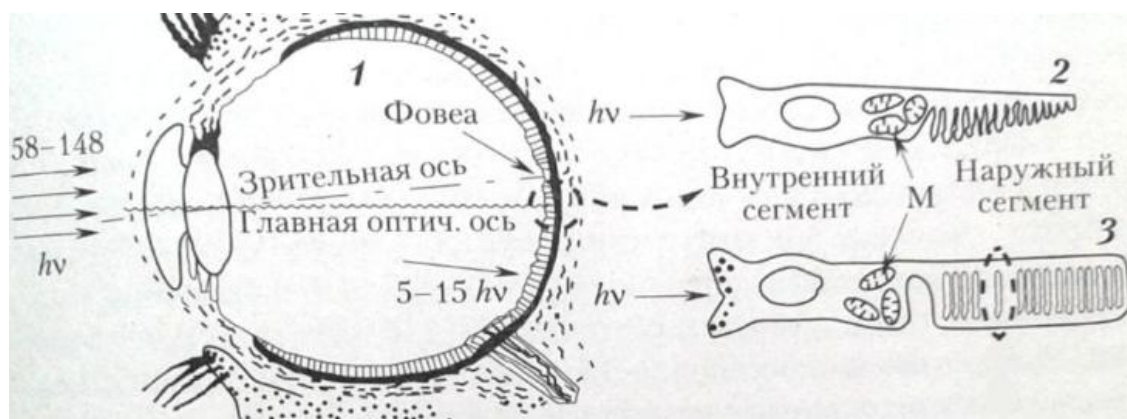


Рисунок 4. Схематическое изображение глаза человека, палочки и колбочки в сетчатке

В фовеальной области сетчатки (центральной области макулы – порядка одного-полтора градуса и диаметра порядка 400-700 мкм), соответствующей максимальному угловому разрешению, колбочки со средним поперечным размером ≈ 1 мкм и расстоянием между «красными», «зелеными» и «синими» монохромными клетками порядка 3-4 мкм взаимно однозначно связаны с нейронными ганглиозными клетками, которые генерируют нервные импульсы, число которых нелинейно кодирует информацию об интенсивности детектируемого оптического излучения и обрабатывается в зрительной области коры головного мозга. [5] Таким образом, в фокальной области сетчатки с помощью оптической системы глаза (роговицы и хрусталика) и пространственной матрицы из «красных», «зеленых» и «синих» колбочек сетчатки детектируется оптическое излучение, несущее информацию не только о пространственном разрешении, но и о спектральном. [6]

Во втором подразделе описывается лазерный спектральный метод определения чувствительности колбочек сетчатки глаза человека на основе пространственного перекрытия двух лазерных пучков с длинами волн 532 и 633 нм. Блок схемы экспериментальной установки для предлагаемого метода представлен на рисунке 5.

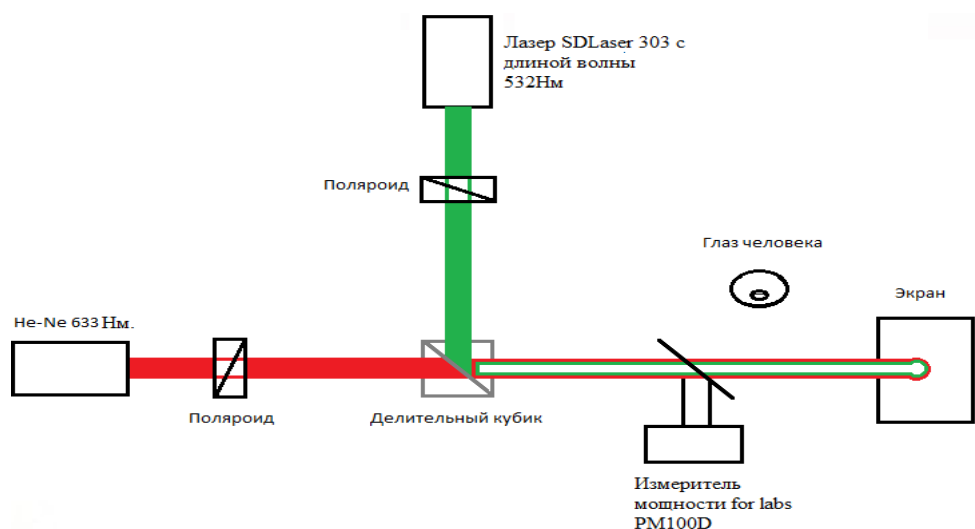


Рисунок 5. Схема экспериментальной установки по исследованию особенности спектральных характеристик макуляной области сетчатки глаза человека, содержащих два типа колбочек, «красных» и «зеленых» имеющих максимум поглощения к на длине волны 633 нм и 532 нм.

Известные значения дисперсии ДФС-8=0,62 нм/мм. Длина волны 546 нм соответствует зелёному = 40мм, для удобства эксперимента выставляем регулятором спектрометра длину волны 546 нм по шкале рулетки в 0 мм. Далее необходимо произвести замеры. В таблице 1 приведены данные, которые использовались при сравнении ощущения изменения света, переходящего от желтого к красному, когда интенсивность лазера 633 нм была равна 1,115 мВт = const, а лазера с длиной волны 532 нм уменьшалась.

Зелёный	Красный	Рулетка	Шкала ДФС-8
1.062 мВт	1,115 мВт	75 мм	578,5 нм
0,93 мВт	1,115 мВт	110 мм	600,2 нм
0,83 мВт	1,115 мВт	135 мм	615,7 нм
0,73 мВт	1,115 мВт	150 мм	625 нм
0,619 мВт	1,115 мВт	155 мм	628,1 нм
0,2 мВт	1,115 мВт	160 мм	631,2 нм

Таблица 1. Данные зависимости длины волны по (ДФС8) от изменения интенсивности лазерного пучка 532 нм.

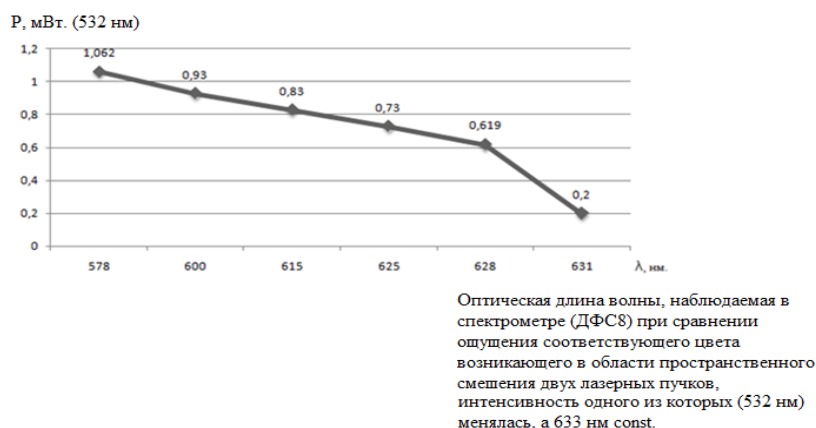


Рисунок 6. Зависимость оптической длины волны наблюдаемой в спектрометре, от изменения интенсивности лазерного пучка.

В таблице 2 приведены данные, которые использовались при сравнении ощущения изменения света, переходящего от желтого к зеленому, когда интенсивность лазера 532 нм была равна 1,060 мВт = const, а лазера с длиной волны 633 нм уменьшалась.

Красный	Зелёный	Рулетка	Шкала ДФС-8
1,130 мВт	1,060 мВт	75мм	578,5 нм
1 мВт	1,060 мВт	72мм	576,6 нм
0,9 мВт	1,060 мВт	67мм	573,5 нм
0,605 мВт	1,060 мВт	58мм	567,9 нм
0,415 мВт	1,060 мВт	50мм	563 нм
0,316 мВт	1,060 мВт	49мм	562,3 нм
0,201 мВт	1,060 мВт	33мм	552,4 нм
0,1 мВт	1,060 мВт	28мм	549,3 нм
0,049 мВт	1,060 мВт	20мм	544,4 нм
0,03 мВт	1,060 мВт	12мм	539,4 нм

Таблица 2. Данные зависимости длины волны по (ДФС8) от изменения интенсивности лазерного пучка 633 нм.

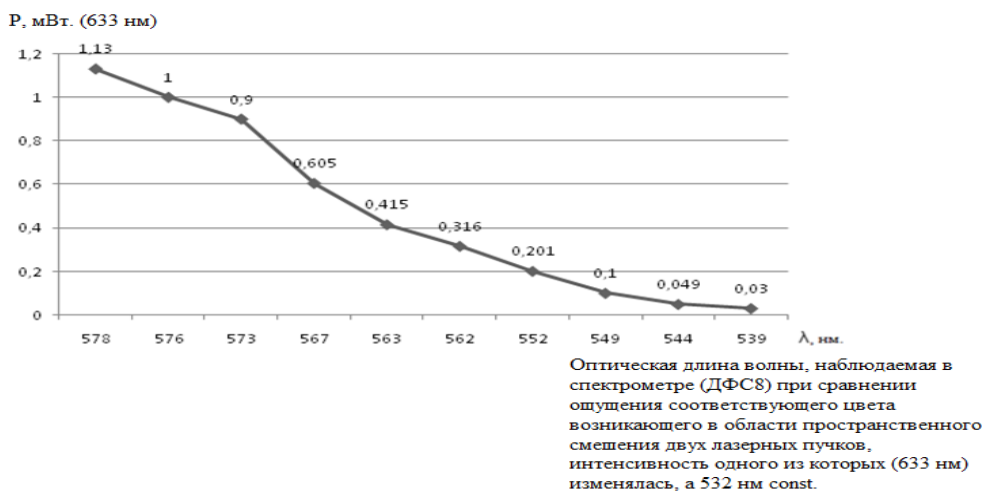


Рисунок 7. Зависимость оптической длины волны наблюдаемой в спектрометре, от изменения интенсивности лазерного пучка.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при 0,01 мВт. изменения цвета не различаемо. Все измерения проводили в полной темноте, для чистоты эксперимента.

Заключение

1. Разработан и апробирован лазерный метод определения спектральной чувствительности колбочек сетчатки глаза человека *in vivo*.
2. Экспериментально установлено, что при изменении абсолютной интенсивности лазерного излучения одного из оптических пучков на два порядка от 1 мВт до 1 мкВт при условии, что интенсивность другого не изменяется, происходит непрерывное нелинейное смещение цвета от зеленого до красного, определяемого по оптическому спектрометру (ДФС-8) и наоборот, при этом полученные спектральные измерения должны позволить определить спектральные кривые чувствительности колбочек глаза человека, при условии, что известна нелинейная связь интенсивности оптического излучения с числом генерируемых ганглиозной клеткой нервных импульсов, распространяющихся по аксону в зрительную кору головного мозга.

Список использованных источников

1. Акчурин Г.Г., Бакуткин В.В., Радченко Е.Ю., Тучин В.В. Лазерная спекл-интерферометрия и возможность определения ретинальной остроты зрения при катаракте. Биомед. технологии и радиоэлектроника. 2002. 1. 19-27 с.
2. Пэдхем Ч., Сондерс Дж. Восприятия света и цвета. М. Мир. 1978. 249с.
3. Хухо Ф. Нейрохимия. Основы и принципы. М. Мир. 1990. 373с.
4. Физиология цветоощущения[Электронный ресурс]: интерактивный учебник – Москва. 2014. 23-61 с.
5. Schmidt R. F., Grundriib der Neurophysiologie, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1974. 186 с.
6. Ostroy S. E., Rhodopsin and the visual process, Biochem. Biophys. Acta, 463, 1977. 91-125 с.