НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

# ФМБ-12(М)(К)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)

Тула, 2022 г

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

## ПРИНЦИПЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: изучение основных методов измерения артериального давления и приобретение навыков работы с техническими средствами его измерения.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.
### Строение глаза человека.

Глаз человека – сложная и совершенная оптическая система (рис. 1.1, рис. 1.2). Человек видит не глазами, а посредством глаз, откуда информация передается через зрительный нерв, хиазму, зрительные тракты в определенные области затылочных долей коры головного мозга, где формируется та картина внешнего мира, которую мы видим. Все эти органы и составляют наш зрительный анализатор или зрительную систему.

Наличие двух глаз позволяет сделать наше зрение стереоскопичным (то есть формировать трехмерное изображение). Правая сторона сетчатки каждого глаза передает через зрительный нерв "правую часть" изображения в правую сторону головного мозга, аналогично действует левая сторона сетчатки. Затем две части изображения - правую и левую - головной мозг соединяет воедино.

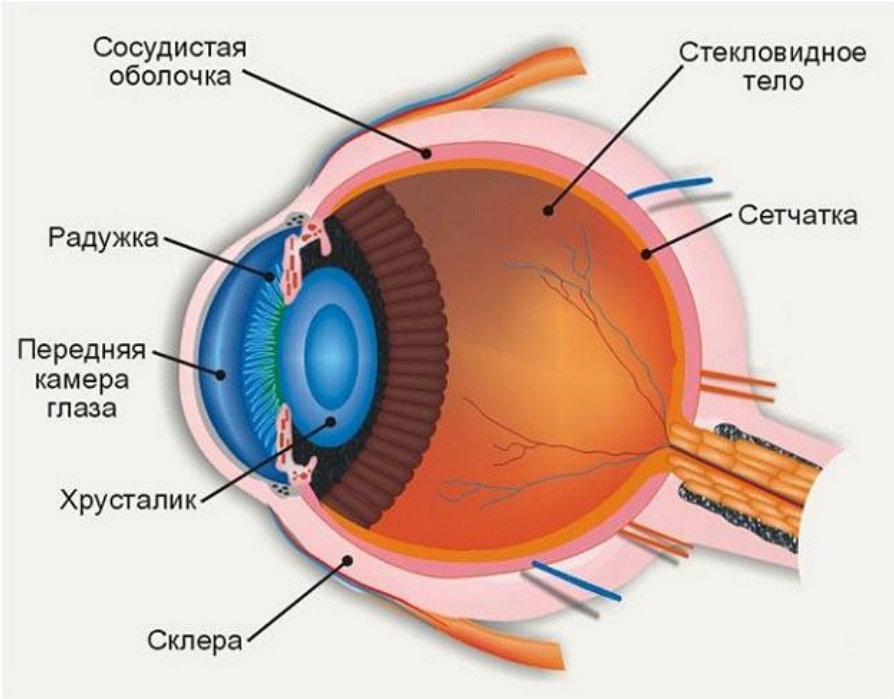



Рис. 1.1. Строение человеческого глаза.

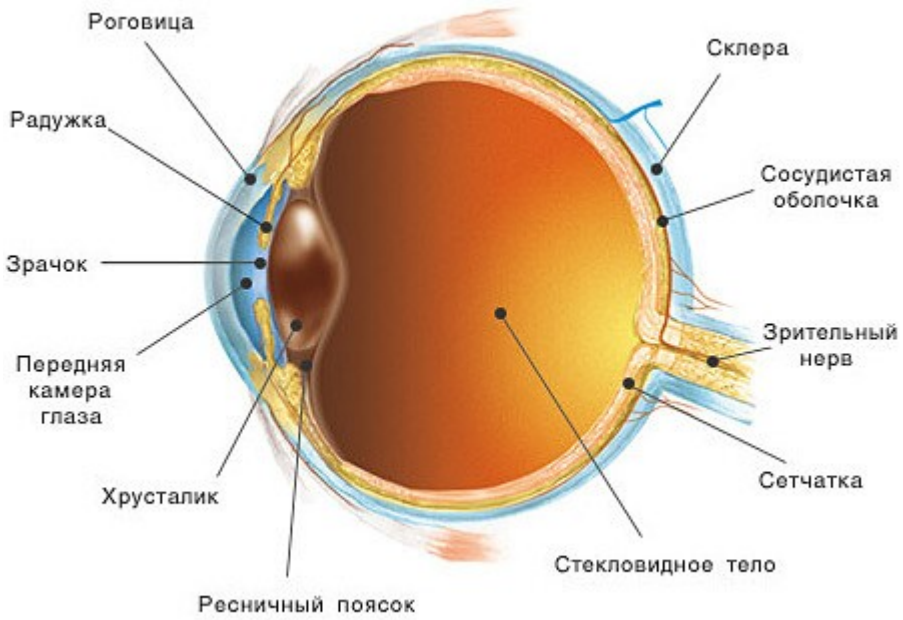



Рис. 1.2. Строение человеческого глаза.

Так как каждый глаз воспринимает "свою" картинку, при нарушении совместного движения правого и левого глаза может быть расстроено бинокулярное зрение. Попросту говоря, у вас начнет двоиться в глазах или вы будете одновременно видеть две совсем разные картинки. Далее вы убедитесь, что человек видит не глазами, а **мозгом с помощью глаз**.

**Роговица** — прозрачная оболочка, покрывающая переднюю часть глаза. Она имеет сферическую форму и совершенно прозрачна. Лучи света, падающие на глаз, сперва проходят через роговицу, которая сильно преломляет их. Роговица граничит с непрозрачной внешней оболочкой глаза — **склерой** (белочная оболочка).

После роговой оболочки световой луч проходит через **переднюю камеру глаза** — пространство между роговицей и радужкой, заполненное бесцветной прозрачной жидкостью. Глубина ее в среднем 3 миллиметра. Задней стенкой передней камеры является **радужная оболочка (радужка)**, которая отвечает за цвет глаз (если цвет голубой - значит, в ней мало пигментных клеток, если карий - много). В центре радужки находится круглое отверстие — **зрачок**.

При осмотре глаза зрачок нам кажется черным. Благодаря мышцам в радужной оболочке, зрачок может изменять свою ширину: сужаться на свету и расширяться в темноте. Это **как бы диафрагма фотоаппарата**, которая автоматически суживается и ограждает глаз от поступления большого количества света при ярком освещении и расширяется при пониженном освещении, помогая глазу улавливать даже слабые световые лучи.

**Циннова связка**, или **ресничный поясок**, **цилиарная связка** (лат. zonula ciliaris), — круговая связка, подвешивающая хрусталик глаза, образован-

ная из тонких гликопротеиновых зонулярных волокон. Названа в честь немецкого врача Иоганна Готтфрида Цинна, который описал её в 1755 году.

Волокна цинновой связки покрыты мукополисахаридным гелем с целью защиты от протеолитических ферментов водянистой влаги камер глаза. Это обусловливает мембраноподобный вид передней и задней камер глаза.

Когда циннова связка натягивается или расслабляется, происходит сокращение цилиарной мышцы, приводящее к изменению кривизны хрусталика, что обеспечивает акт **аккомодации**. При сокращении мышцы натяжение уменьшается, и хрусталик округляется. При расслаблении мышцы зонулярные волокна натягиваются, и хрусталик сплющивается. Фокус удаляется.

После прохождения через зрачок луч света попадает на хрусталик. Его легко себе представить — это чечевицеобразное тело, **напоминающее обычную лупу**. Свет может свободно проходить через хрусталик, но при этом он преломляется так же, как по законам физики преломляется световой луч, проходящий через призму, т. е. отклоняется к основанию. Хрусталик обладает чрезвычайно интересной особенностью: с помощью связок и мышц вокруг он может **изменять свою кривизну**, что в свою очередь изменяет степень преломления. Это свойство хрусталика изменять свою кривизну очень важно для зрительного акта.

Рис. 1.3. **Чечевица**. Примерно такую же форму имеет хрусталик.

После хрусталика свет проходит через **стекловидное тело**, заполняющее всю полость глазного яблока. Стекловидное тело состоит из тонких волокон, между которыми находится бесцветная прозрачная жидкость, обладающая большой вязкостью; эта жидкость напоминает расплавленное стекло. Отсюда и произошло его название — стекловидное тело. Оно участвует во внутриглазном обмене веществ.

Сетчатка состоит из 10 слоев, где есть **клетки-фоторецепторы** (они чувствительны к свету) и **нервные клетки**. Фоторецепторы в сетчатке делятся на два вида: **колбочки** и **палочки**. В этих клетках происходит преобразование энергии света (фотонов) в электрическую энергию нервной ткани, т.е. фотохимическая реакция.

**Палочки** обладают высокой светочувствительностью и позволяют видеть при плохом освещении (**сумеречное** и **черно-белое** зрение), также они отвечают за **периферическое зрение**.

Колбочки, наоборот, требуют для своей работы большего количества света, но именно они позволяют разглядеть мелкие детали (отвечают за **центральное и цветное зрение**). Наибольшее скопление колбочек находится в **желтом пятне** (о нем ниже), отвечающем за самую высокую остроту зрения.
Чтобы быстрее запомнить:

- НОЧЬЮ удобнее ходить с ПАЛОЧКОЙ.
- ДНЕМ лаборанты работают с КОЛБОЧКАМИ.

Сетчатка прилегает к сосудистой оболочке, но на многих участках неплотно. Именно здесь она и имеет тенденцию **отслаиваться** при различных заболеваниях сетчатки.

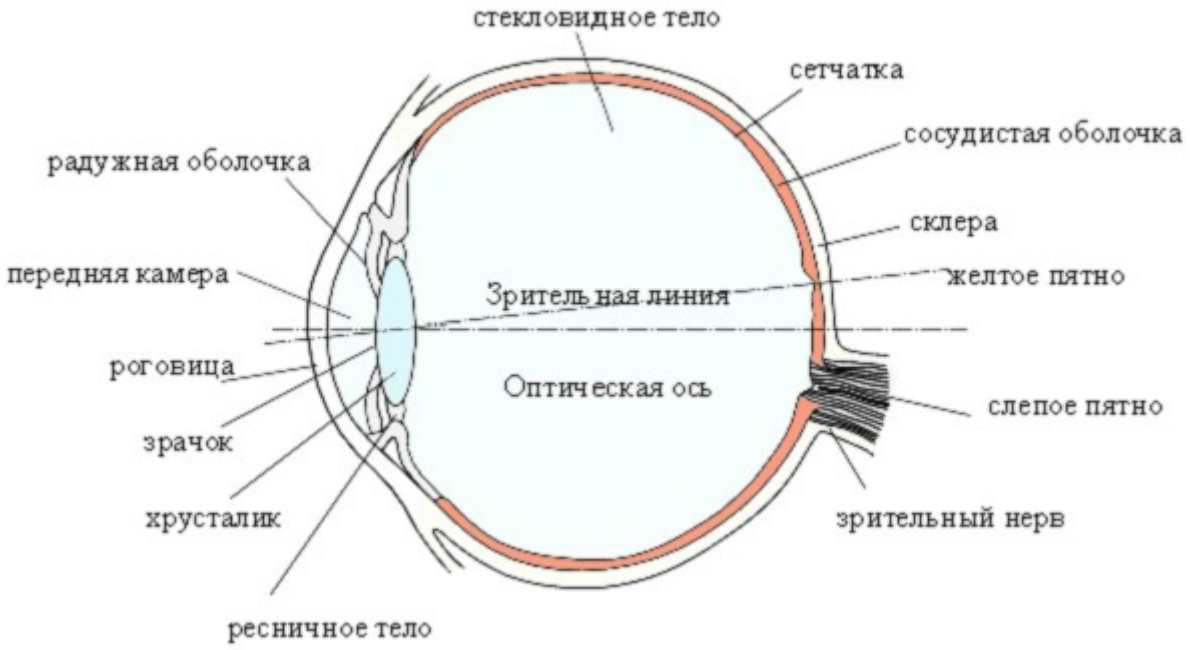



Рис. 1.4. Строение человеческого глаза. Обратите внимание на **желтое** и **слепое пятно**.

**Желтое пятно** является крошечной, желтоватой областью **возле центральной ямки** (центра сетчатки) рис. 1.4 и находится рядом с оптической осью глаза. Это область наибольшей остроты зрения, тот самый «центр зрения», который мы обычно наводим на предмет.

**Зрительный нерв** проходит от каждого глаза в полость черепа. Здесь зрительные волокна проделывают длинный и сложный путь (с **перекрестами**) и в конечном итоге заканчиваются в затылочной части коры головного мозга. Эта область является высшим **зрительным центром**, в котором и воссоздается зрительный образ, точно соответствующий рассматриваемому предмету.

Спереди глаз оберегают веки, выстланные изнутри тонкой оболочкой – конъюнктивой (от лат. *conjungo – соединять*). Она переходит на глазное яблоко. Брови предотвращают попадание в глаза пота со лба, а веки с ресницами защищают их от снега, дождя, пыли. На обоих веках примерно по 80 ресниц, и каждой из них отведено 100 дней, чтобы вырасти и выпасть. Таким образом, в течение жизни у нас сменяется 83–93 тыс. ресниц. Назначение слёз у человека – смачивать поверхность глазного яблока, иначе она высохнет и видеть станет невозможно. Так что «плачет» человек постоянно, для этого на наружных стенках глазниц есть по слёзной железе. Обе они за сутки вырабатывают до 1 мл слёз.

**Глаз как оптический прибор.**

Свет, падающий на колбочки и палочки, вызывает в них химические превращения. Благодаря этому в нервном волокне, соединяющем светочувствительные клетки глаза с мозгом, возникают электрические импульсы.

Получение зрительной информации о рассматриваемом предмете - сложный психофизический процесс. Поле ясного зрения определяется размерами желтого пятна и составляет около 8° по горизонтали и 6° по вертикали. Все, что проецируется на периферическую часть сетчатки, воспринимается в виде смутных деталей. Однако глаз обладает способностью быстро перемещаться (поворачиваться) в своей орбите, сканируя рассматриваемый объект. Этот процесс протекает под управлением мозга. Поэтому глаз может задерживаться на тех деталях, которые представляют интерес, возвращаться к ним при необходимости. Благодаря этому человек, не поворачивая головы, может обозревать сектор 120-150° по вертикальному и горизонтальному направлениям. Это больше, чем у хороших оптических инструментов.

**Светопроводящий аппарат** глаза (рис. 2.1) образован роговицей, жидкостью передней камеры, хрусталиком и стекловидным телом. Первые три элемента подобны собирающим линзам, а последний - рассеивающей. Глаз - центрированная оптическая система, *главная оптическая ось* (OO) рис. 2.1 которой проходит через центры роговицы, зрачка, хрусталика. *Оптическая сила глаза* складывается из оптических сил всех перечисленных элементов. При полностью расслабленной кольцевой мышце оптическая сила глаза D - около +60 дптр (диоптрий), при максимальном напряжении кольцевой мышцы (рассматривании близких предметов) D > +70 дптр.

Направление наибольшей чувствительности глаза определяет его *зрительная ось* (O'O'), которая проходит через центры роговицы и желтого пятна. В направлении этой оси глаз имеет наилучшую разрешающую способность. Угол между оптической и зрительной осью составляет 5°.

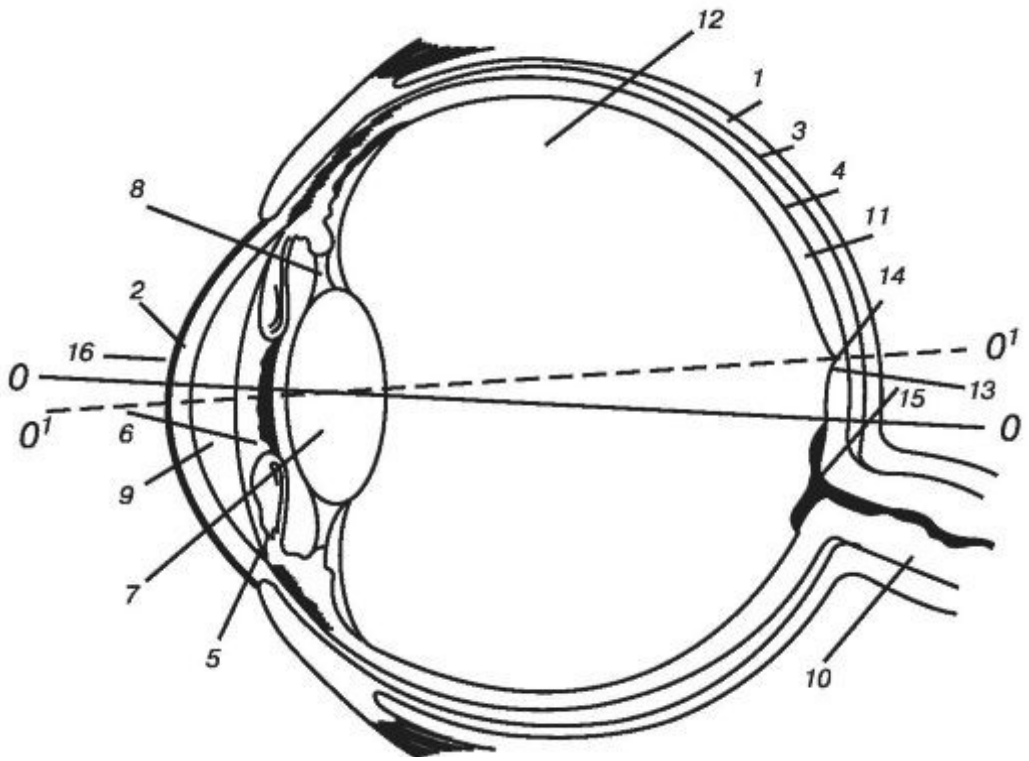



Рис. 2.1. Оптическая система глаза. Главная оптическая ось (ОО), зрительная ось (О'О').

Пояснения к рис. 2.1:

1. *Склера* - достаточно прочная внешняя белковая оболочка, защищающая глаз от повреждений и придающая ему постоянную форму.

2. *Роговица* - передняя часть склеры, более выпуклая и прозрачная; действующая как собирающая линза с оптической силой D= +(42 – 43) дптр. Склера обеспечивает до 75 % фокусирующей способности глаза. Её толщина 0,6-1 мм, а показатель преломления n = 1,38.

3. *Сосудистая оболочка* - с внутренней стороны склера выстлана сосудистой оболочкой. Это очень тонкая перепонка, содержащая кровеносные сосуды. В передней части она утолщается и принимает форму кольца. Здесь и прикрепляется радужная оболочка и ресничная мышца.

4. *Пигментная оболочка,* содержащая темные пигментные клетки, препятствующие рассеиванию света в глазу.

5. *Радужная оболочка* - в передней части сосудистая оболочка переходит в окрашенную радужную оболочку, цвет которой определяет цвет глаз.

6. *Зрачок* - круглое отверстие в радужной оболочке, пропускающее свет. Диаметр зрачка может изменяться от 2 до 8 мм. Радужная оболочка и зрачок играют роль диафрагмы, регулирующей поступление света внутрь глаза.

7. Х*русталик* - природная эластичная двояковыпуклая линза диаметром 8-10 мм и оптической силой D=+(20-30) дптр. Хрусталик имеет слоистую структуру с наибольшим показателем преломления n = 1,41; находится за радужной оболочкой.

8. *Кольцевая мышца* - мышца, которая охватывает хрусталик и может изменять кривизну его поверхностей. При сжатии кольцевой мышцы оптическая сила хрусталика увеличивается.

9. *Передняя камера* - камера с водянистой массой ($n = n_{воды}$), которая находится в передней части глаза между роговицей и хрусталиком, оптическая сила D= +(2 – 4) дптр.

10. *Зрительный нерв,* обеспечивающий передачу зрительной информации в мозг. Подходя к глазу, он разветвляется, образуя на задней стенке сосудистой оболочки светочувствительный слой — сетчатку.

11. *Сетчатка* - светочувствительный слой, воспринимающий свет и преобразующий его в нервные импульсы. Сетчатка представляет собой разветвление зрительного нерва с нервными окончаниями в виде палочек и колбочек. Колбочки (их примерно 10 млн) служат для восприятия мелких деталей предмета и различения цветов; диаметр колбочки 7 мкм, а длина около 35 мкм. Палочки (120 млн клеток) не воспринимают различия в цвете и мелкие детали, но они высокочувствительны к слабому свету. С помощью палочек человек различает предметы в сумерках и ночью. Диаметр палочки 2 мкм, а длина 6 мкм. Палочки и колбочки распределены неравномерно: в средней части сетчатки преобладают колбочки, а по краям - палочки. Чувствительность сетчатки очень высока: свет обыкновенной свечи виден на расстоянии нескольких километров.

12. *Стекловидное тело* - студенистое вещество, заполняющее пространство между хрусталиком и сетчаткой (задняя глазная камера). Оптическая сила D=(5 – 6) дптр.

13. *Желтое пятно (макула)* - самая чувствительная область сетчатки, площадью около 3 мм$^2$. Человек видит ясно те предметы, изображение которых проецируется на желтое пятно.

14. *Центральная ямка* - наиболее чувствительная часть желтого пятна. Это область диаметром примерно полмиллиметра, в которой сетчатка углублена. Здесь палочки совсем отсутствуют, а концентрация колбочек максимальна.

15. *Слепое пятно* - расположено в том месте, где зрительный нерв входит в глаз. Здесь нет ни палочек, ни колбочек, и лучи, попадающие на эту область, не вызывают световых ощущений (отсюда и название «слепое пятно»).

16. *Конъюнктива* - наружная оболочка глаза, выполняет барьерную и защитную роль.

*Световоспринимающим* (рецепторным) *аппаратом* глаза является сетчатка, в которой находятся светочувствительные зрительные клетки. Сетчатка - это часть мозга, отделившаяся от него на ранних стадиях развития, но все еще связанная с ним посредством пучка волокон - зрительного нерва. Она имеет форму пластинки толщиной приблизительно в четверть миллиметра. Светочувствительные клетки (палочки и колбочки), являющиеся фоторецепторами, расположены на задней поверхности сетчатки (рис. 2.2).

Таким образом, фоторецепторы самого глубокого слоя сетчатки воспринимают свет и передают импульсы на ганглиозные клетки. Их аксоны проходят по поверхности сетчатки и собираются в пучок у слепого пятна, образуя волокна зрительного нерва. Позади рецепторов находится слой клеток, содержащих черный пигмент меланин, который поглощает свет, прошедший через сетчатку, не давая ему отражаться назад и рассеиваться внутри глаза.

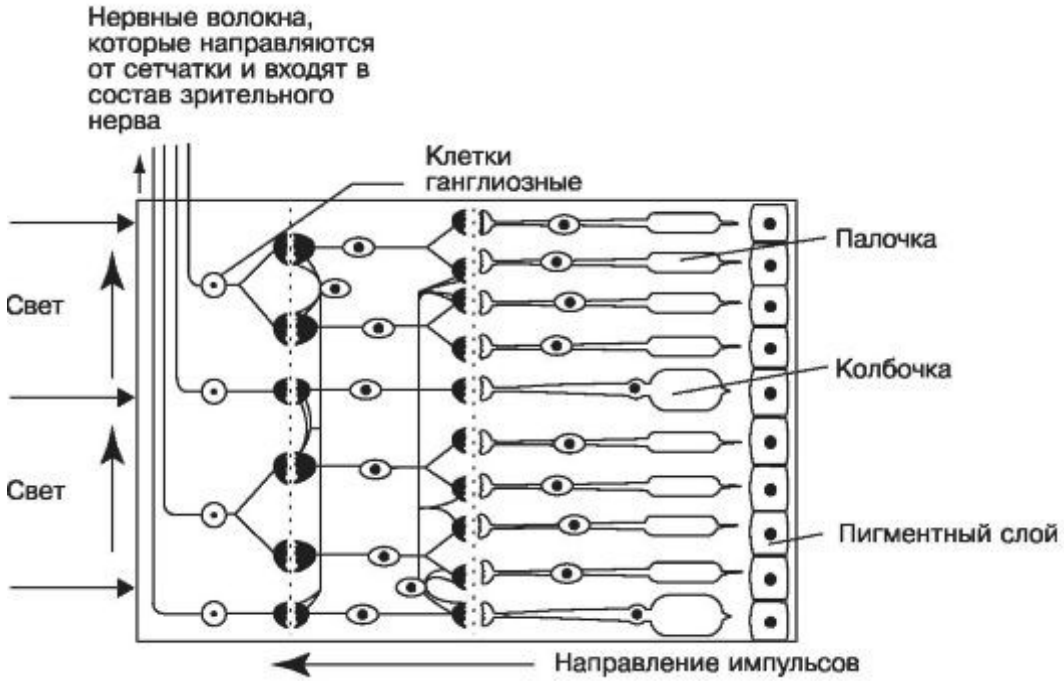



Рис. 2.2. Изображение основных слоев сетчатки и направлений нервных импульсов (жирные стрелки).

**Аккомодация.**

К глазу с некоторыми ограничениями применима формула линзы (рис. 2.3):

$$D = 1/f = 1/a_1 + 1/a_2.$$

Где D – оптическая сила, $f$ – фокусное расстояние, $a_1$ — расстояние от хрусталика до предмета, $a_2$ – расстояние от хрусталика до изображения на сетчатки.

Действительное изображение предмета, даваемое светопроводящим аппаратом глаза, проецируется на сетчатку, которая играет роль экрана. Расстояние от сетчатки до всех элементов светопроводящего аппарата практически постоянно ($a_2$ = const). В этом случае обеспечить резкость изображения различно удаленных предметов можно единственным способом: изменять оптическую силу глаза D при изменении расстояния $a_1$. Эту задачу решает кольцевая мышца, которая при напряжении увеличивает кривизну хрусталика, увеличивая тем самым оптическую силу. Процесс «наводки на резкость» называется ***аккомодацией.***

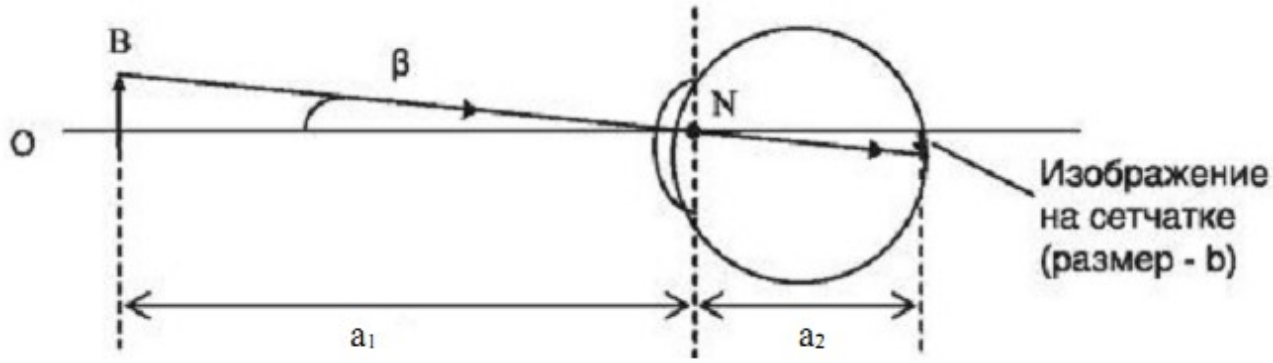



Рис. 2.3. Изображение на сетчатке и угол зрения β. B – размер предмета, b – размер изображения на сетчатке. N – точка, располагающаяся на оптической оси в центре хрусталика (оптический центр тонкой линзы).

***Аккомодация*** - приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов.

В норме глаз человека обеспечивает четкое видение предметов, удаленных от него на расстояния от 12 см практически до бесконечности**.** Ближний предел аккомодации (12 см) связан с максимальным напряжением *кольцевой мышцы.* Такое напряжение вызывает быстрое утомление. Принято считать, что у взрослого человека с нормальным зрением аккомодация осуществляется без существенного напряжения на расстояние до 25 см. Это расстояние называется *расстоянием наилучшего зрения (видения)* - $a_0$. Дальнему пределу аккомодации $a_д$ соответствует полное расслабление кольцевой мышцы и минимальная кривизна хрусталика. В норме $a_д = \infty$**.**

Отметим, что у некоторых животных, например у рыб, шарообразный хрусталик не изменяет своей кривизны, а перемещается под действием мышц вперед или вглубь глазного яблока, подобно объективу фотоаппарата.

## Недостатки оптической системы глаза. Близорукость и дальнозоркость.

К самым распространенным дефектам зрения относятся близорукость (миопия) и дальнозоркость (гиперметропия), связанные с излишней или недостаточной выпуклостью хрусталика.

Если хрусталик излишне выпукл, то оптическая сила глаза превышает норму. В этом случае положение заднего фокуса при ненапряженной кольцевой мышце оказывается перед сетчаткой (рис. 2.4, а).

Такой глаз не может четко видеть удаленные предметы. Даже при небольшой степени миопии *дальний предел аккомодации* уменьшается до нескольких десятков сантиметров (у нормального глаза он равен бесконечности). Ближний предел аккомодации при этом также уменьшается. Близорукий человек выполняет тонкую работу лучше, чем человек с нормальным зрением. Вот почему среди потомственных ювелиров близорукость обычное явление. Для компенсации близорукости используют очки с рассеивающими линзами.

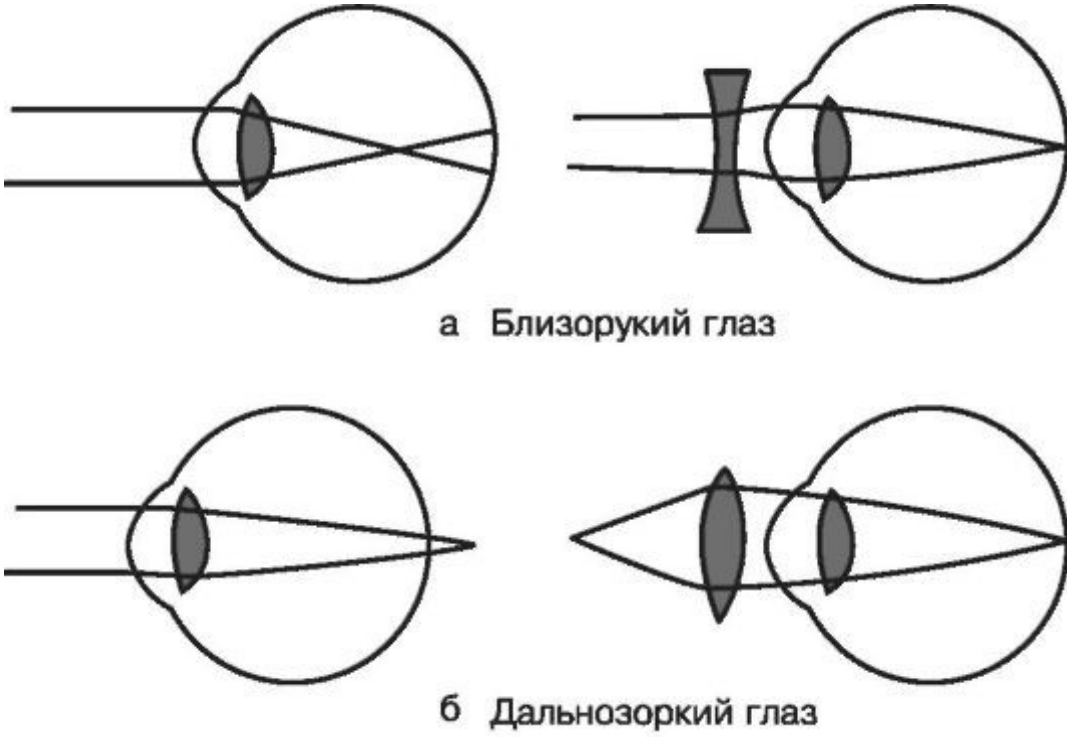



Рис. 2.4. Компенсация близорукости (а) и дальнозоркости (б).

Если выпуклость хрусталика недостаточна, то оптическая сила глаза меньше нормы. В этом случае положение заднего фокуса при ненапряженной кольцевой мышце оказывается за сетчаткой (рис. 2.4, б). Дальнозоркий глаз может четко видеть удаленные предметы только при напряжении кольцевой мышцы (это быстро утомляет). Ближний предел аккомодации при гиперметропии су-

щественно превышает 25 см. Соответственно возрастает *линейный предел разрешения.* Человек теряет возможность выполнять тонкую работу. Возникают проблемы и при чтении. Для компенсации дальнозоркости используют очки с собирающими линзами.

**Угол зрения. Разрешающая способность. Острота зрения.**

Глаз человека – это оптическая система. Как оптический прибор глаз обладает большой чувствительностью, особенно к перепаду освещенности (контрастности). Одной из главных характеристик глаза, как оптического прибора, является разрешающая способность. Разрешающей способностью глаза или оптического прибора называется величина обратная минимальному углу между направлениями на две точки, при котором получаются их раздельные изображения. Она определяется дифракцией света на входном зрачке глаза или объективе оптического прибора.

Дифракция Фраунгофера от круглого отверстия имеет вид центрального светлого пятна (кружок Эйри), окруженного чередующимися темными и светлыми кольцами (рис. 2.5, 2.6).

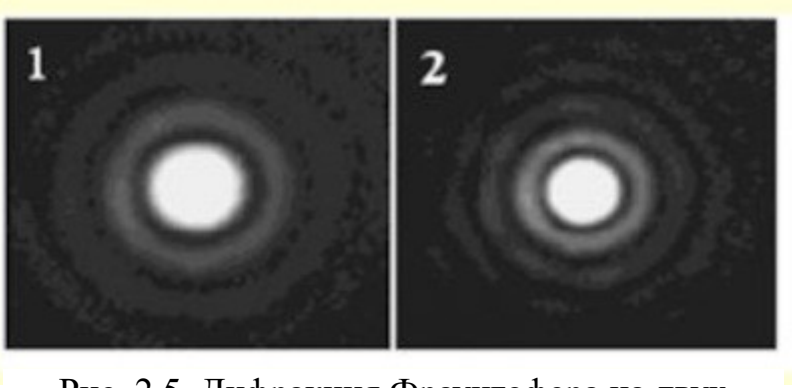



Рис. 2.5. Дифракция Фраунгофера на двух круглых отверстиях различного диаметра.

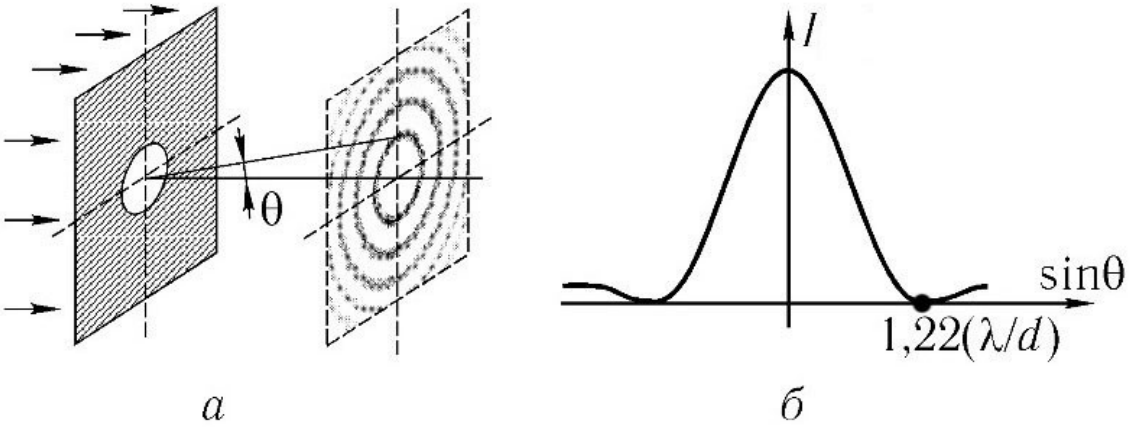



Рис. 2.6. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии. (а) — схема дифракции; (б) — зависимость интенсивности I на экране от синуса угла дифракции sin θ; d – диаметр отверстия; λ – длина волны излучения; $\sin\theta_{min} = 1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right)$ - положение первого дифракционного минимума.

Соответствующий расчет дает, что первый дифракционный минимум находится на угловом расстоянии от центра дифракционной картины, равном:

$$\theta_{min} = \arcsin\left(1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right)\right) \qquad (1.1)$$

где d – диаметр зрачка или входного отверстия объектива, λ – длина световой волны. На практике (для телескопа, глаза) мы имеем d>>λ, и формула (1.1) принимает более простой вид:

$$\theta_{min} = 1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right) \qquad (1.2)$$

Подавляющая часть (около 84 %) светового потока, прошедшего через отверстие попадает в область кружка Эйри («нулевой» максимум). Интенсивность первого максимума составляет 1,74 %, а на остальные приходятся доли процента от интенсивности центрального максимума. Поэтому в первом приближении дифракционную картину можно считать состоящей из одного центрального светлого пятна с угловым радиусом, определяемым формулой (1.2). Это пятно является по существу изображением бесконечно удаленного точечного источника света (на отверстие, при дифракции Фраунгофера, падает плоская волна).

Любой объект можно рассматривать как совокупность точечных источников света, каждый из которых изображается кружком Эйри с окружающими его дифракционными кольцами. Изображение объекта есть наложение таких кружков и дифракционных колец. Задача теории сводится к расчету распределения интенсивности света в такой картине.

В простейшем случае объект состоит из двух точечных источников света S1 и S2. При очень малом угловом расстоянии между двумя точками их изображения, получающиеся с помощью оптического прибора или глаза, наложатся друг на друга и дадут одно светящееся пятно. Это значит, что две очень близкие точки не будут восприниматься прибором либо глазом раздельно или, как говорят, не будут разрешаться прибором.

Обозначим через $\varphi_{min}$ наименьшее угловое расстояние между двумя точками, при котором они еще разрешаются оптическим прибором (рисунок 2.7).

Величина, обратная $\varphi_{min}$, называется разрешающей способностью прибора (глаза):

$$R = \frac{1}{\varphi_{min}} \qquad (1.3)$$

где $\varphi_{min}$ берётся в радианах.

Согласно критерию Рэлея, изображения двух одинаковых точек разрешимы, когда центральный максимум дифракционной картины для одной точки совпадает с первым минимумом дифракционной картины для другой (рис. 2.7).

Из рисунка следует, что при выполнении критерия Рэлея угловое расстояние между точками φ должно быть равно:

$$\varphi \geqslant 1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right) \qquad (1.4)$$

где $\theta_{min} = 1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right)$ - первый дифракционный минимум или радиус центрального пятна Эйри, как для источника $S_1$ так и для источника $S_2$.

Из (1.4) следует, что наименьшее угловое расстояние между двумя точками, при котором они еще разрешаются оптическим прибором либо глазом $\varphi_{min} = \theta_{min} = 1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right)$ .

Следовательно, разрешающая способность из (1.3):

$$R = \frac{1}{\varphi_{min}} = \frac{d}{(1{,}22 \cdot \lambda)} \qquad (1.5)$$

Точно указать величину $\varphi_{min}$ невозможно. Она в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей глаза или другого приемника излучения, поэтому речь может идти только о рациональной оценке величины $\varphi_{min}$.

Как было сказано выше, согласно Рэлею, за $\varphi_{min}$ принимается такое угловое расстояние между светящимися источниками $S_1$ и $S_2$ при котором расстояние между центрами кружков Эйри равно радиусу одного кружка. В этом случае центр дифракционной картины от одной светящейся точки будет накладываться на первый дифракционный минимум от второй светящейся точки.

На рис. 2.8 изображены рассчитанные кривые распределения интенсивности на экране для каждого из источников. Расстояние между центрами дифракционных картин

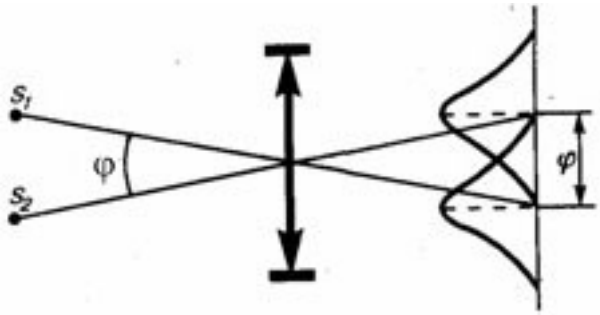



Рис. 2.7. Критерий Релея.

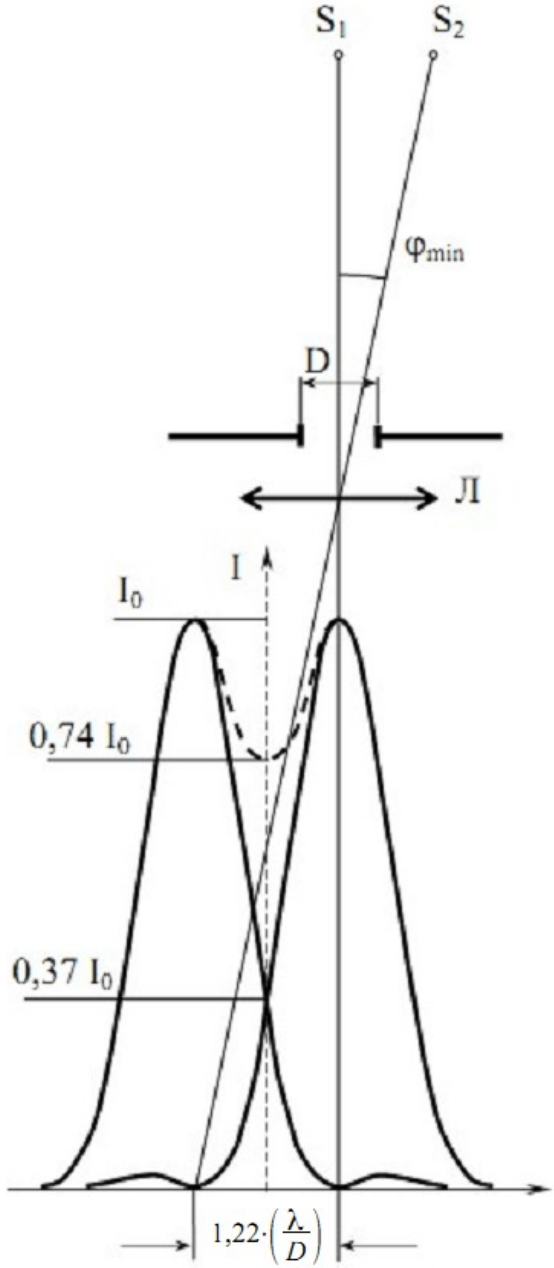



Рис. 2.8. Критерий Релея. Рассчитанные кривые распределения интенсивности на экране для каждого из источников $S_1$ и $S_2$.

равно радиусу кружка Эйри, как этого требует критерий Рэлея на пределе разрешения. Результирующая интенсивность получается сложением ординат обеих кривых и изображена пунктиром.

В центре она имеет провал интенсивности, составляющий 74 % от максимальной. Между тем, «средний» глаз уверенно обнаруживает наличие провала уже тогда, когда интенсивность в центре составляет около 85 %.

Следовательно, можно считать, что при выбранном расстоянии между светящимися точками их удастся разрешить раздельно. С другой стороны, сближая кривые, легко установить, что провал исчезает, когда расстояние между центрами кружков Эйри уменьшается до $\frac{\lambda}{d}$, что мало отличается от рэлеевского предела. В этом случае разрешения нет. Таким образом, критерий Рэлея дает практически необходимое и достаточное условие для разрешения двух источников света $S_1$ и $S_2$.

При построении изображения, даваемого глазом на сетчатке, используют узловую точку N, которая аналогична оптическому центру тонкой линзы (рис. 2.9). Размер изображения зависит только от угла φ, под которым виден предмет. Этот угол называют *углом зрения:*

$$b = l \cdot tg\,\varphi \qquad (1.6)$$

где $b$ – размер изображения на сетчатке, $l \approx 17$ мм – расстояние от узловой точки до сетчатки.

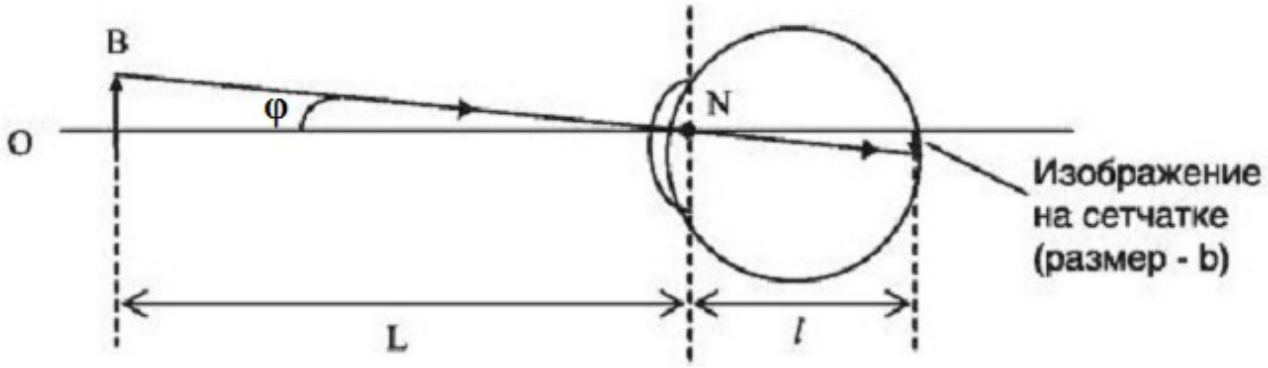



Рис. 2.9. Изображение на сетчатке и угол зрения φ. B – размер предмета, b – размер изображения на сетчатке, L – расстояние от предмета до узловой точки, $l$ — расстояние от узловой точки до изображения. N – узловая точка, располагающаяся на оптической оси в центре хрусталика (оптический центр тонкой линзы).

**Угол зрения** - угол между лучами, идущими от крайних точек предмета через узловую точку (оптический центр глаза). Из рисунка 2.9 следует, что:

$$tg\,\varphi = \frac{B}{L} = \frac{b}{l} \qquad (1.7)$$

Учитывая эти соотношения, можно записать следующую формулу для размера изображения:

$$b=\frac{l\cdot B}{L} \qquad (1.8)$$

Для малых углов зрения (φ≤0,1 рад) справедливо приближение $tg\,\varphi\approx\varphi$ .

Как было сказано выше, **разрешающая способность глаза** - это величина, характеризующая его способность давать раздельное изображение двух близких друг к другу точек объекта. Наименьшее линейное (или угловое) расстояние между двумя точками, при котором их изображения воспринимаются раздельно, называется линейным (или угловым) пределом разрешения. Угловой предел разрешения $\varphi_{min}$ - наименьший угол зрения, при котором человеческий глаз еще различает две точки предмета раздельно.

Обратим внимание на то, что понятие углового предела разрешения заимствовано из оптики, где оно применяется к изображениям точек. Поэтому корректное применение этого понятия к глазу допустимо лишь тогда, когда точки находятся в пределах аккомодации глаза. В этом случае угловой предел разрешения глаза не зависит от таких дефектов, как близорукость или дальнозоркость, и определяется свойствами сетчатки и диаметром зрачка.

Принято считать, что для нормального глаза, способного к аккомодации, угловой предел разрешения равен 1' (одна угловая минута или $3\cdot10^{-4}$ рад.). При этом исходят из следующих соображений. Две точки предмета будут различимы, если их изображения попадают в **соседние** колбочки сетчатки. Расстояние между соседними колбочками b = 5 мкм = $5\cdot10^{-6}$ м. По формуле (1.6) найдем угловое расстояние между такими точками, учитывая его малость (tgφ ≈ φ):

$$\varphi_{min}=\frac{b}{l}=\frac{5\cdot10^{-6}}{17\cdot10^{-3}}\approx3\cdot10^{-4}\,\text{рад}\approx 1\text{ угловая минута.}=1'$$

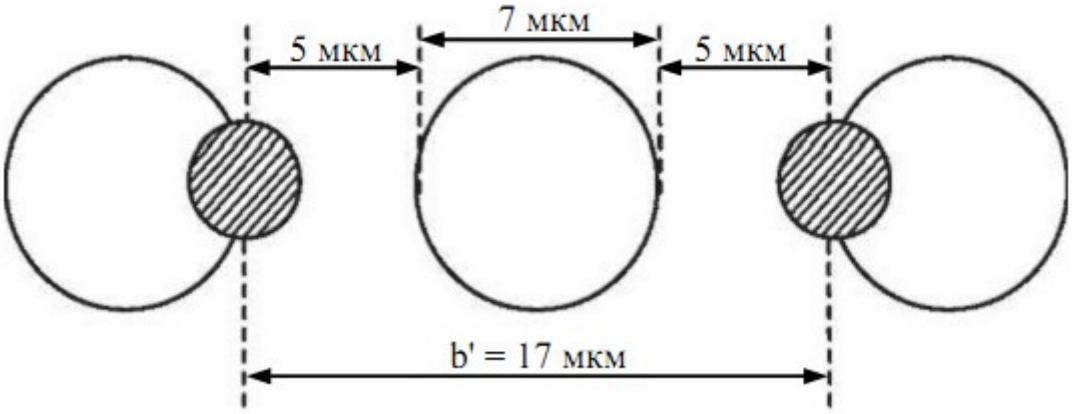



Рис. 2.10. Реальный случай раздельного восприятия двух точек.

В действительности эта оценка занижена. Раздражение двух соседних колбочек светом равной интенсивности не создаст двух раздельных образов. Для создания раздельных образов необходимо, чтобы между двумя освещёнными колбочками находилась хотя бы одна колбочка, которая не испытывает светового раздражения. Этот случай изображен на рис. 2.10, где показаны три колбочки диаметром 7 мкм, расстояние между которыми равно 5 мкм. Изображение точки вследствие дифракции света на зрачке имеет вид заштрихованного кружка (дифракционное пятно). Центры дифракционных пятен расположены на краях колбочек.

В этом случае расстояние между центрами изображений b' равно 17 мкм. Этому расстоянию соответствует угол зрения:

$$\varphi'_{min} = \frac{b'}{l} = \frac{17 \cdot 10^{-6}}{17 \cdot 10^{-3}} \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ рад} \approx 3{,}4 \text{ угловых минуты.} = 3{,}4'$$

Полученное выше значение (1 угловая минута) может быть реализовано в том случае, когда в соседние колбочки попадают изображения двух точек с различной яркостью. При этом возникают нервные импульсы различной величины. Однако этот случай относится скорее к способности глаза различать контрастные детали. На практике принято считать, что предельное угловое разрешение глаза $\varphi_{min}$ лежит в пределах 2 — 4 угловых минут.

В качестве линейной характеристики разрешающей способности используют линейный предел разрешения.

**Линейный предел разрешения глаза** (Z) - наименьшее расстояние между двумя точками предмета, рассматриваемого с расстояния наилучшего зрения, при котором они различимы раздельно. Напомним, что речь идет о расстоянии наилучшего зрения для **данного** глаза. Предел разрешения глаза связан с наименьшим углом зрения ($\varphi_{min}$) простым соотношением:

$$Z_{min} = a_0 \cdot \varphi_{min} \qquad (1.9)$$

где $\varphi_{min}$ берётся в радианах, $a_0$ — расстояние наилучшего видения в метрах (расстояние от предмета до узловой точки N рис. 2.3, 2.9).

Для глаза с нормальными пределами аккомодации:

$$a_0 = 0{,}25 \text{ м} = 25 \cdot 10^4 \text{ мкм}; \ \varphi_{min} = 2' - 4' = 5{,}8 \cdot 10^{-4} \text{ рад} - 11{,}6 \cdot 10^{-4} \text{ рад}.$$

Используя эти значения, получим следующую оценку для **линейного предела разрешения нормального глаза:** Z = 145 – 290 мкм.

**Теоретически**, для близорукого глаза в пределах его аккомодации значение $\varphi_{min}$ такое же, как для нормального глаза, а расстояние наилучшего зрения - меньше. Пропорционально меньше и линейный предел разрешения. Для дальнозоркого глаза - наоборот.

**Острота зрения.**

В офтальмологии способность глаза к дальней аккомодации характеризуют **остротой зрения (V)**. При этом с помощью специальной таблицы определяют способность глаза опознавать стандартные символы (буквы) в зависимости от их величины. Остроту зрения для нормального глаза принимают за единицу ($V_{норм}$ = 1). Испытуемый находится на определенном расстоянии от таблицы и рассматривает предлагаемые врачом символы одним глазом. Поделенный на 10 номер строки, которую испытуемый распознает еще безошибочно, и является остротой зрения. Например, V = 0,3, если испытуемый без ошибок читает третью строку таблицы. Обратите внимание на то, что здесь определяется способность распознавать нечеткие (несфокусированные) изображения. Норме соответствует чтение десятой строки. Если размер ее символов принять за единицу, то размеры символов по мере продвижения вверх равны: 2, 3 … 10. Это позволяет записать следующую формулу для остроты зрения:

$$V = \frac{\varphi_{норм}}{\varphi_{min}} \qquad (1.10)$$

Острота зрения равна отношению минимального углового размера символа, распознаваемого нормальным глазом $\varphi_{норм.}$, к минимальному угловому размеру символа, распознаваемого пациентом $\varphi_{min}$.

Острота зрения равна величине, обратной предельному углу разрешения и численно совпадает с разрешающей способностью (1.3), если в (1.10) принять $\varphi_{норм} \approx 1'$:

$$V = \frac{1}{\varphi_{min}} \qquad (1.11)$$

где $\varphi_{min}$ берётся в угловых минутах.

Для $\varphi_{min} = 1'$ острота зрения равна V=1; для $\varphi_{min} = 0{,}5\ ' = 30\ ''$ (тридцать угловых секунд или половина угловой минуты) острота зрения V=2; если предельный угол разрешения $\varphi_{min} = 2'$, то V = 0,5 и т. д.

**Спектральная чувствительность глаза.**

Любое излучение в видимом диапазоне спектра электромагнитных излучений при попадании в глаз вызывает определенные зрительные ощущения. Относительная спектральная чувствительность глаза $k_\lambda$ к монохроматическому излучению одинаковой интенсивности показана на рис. 3.1.

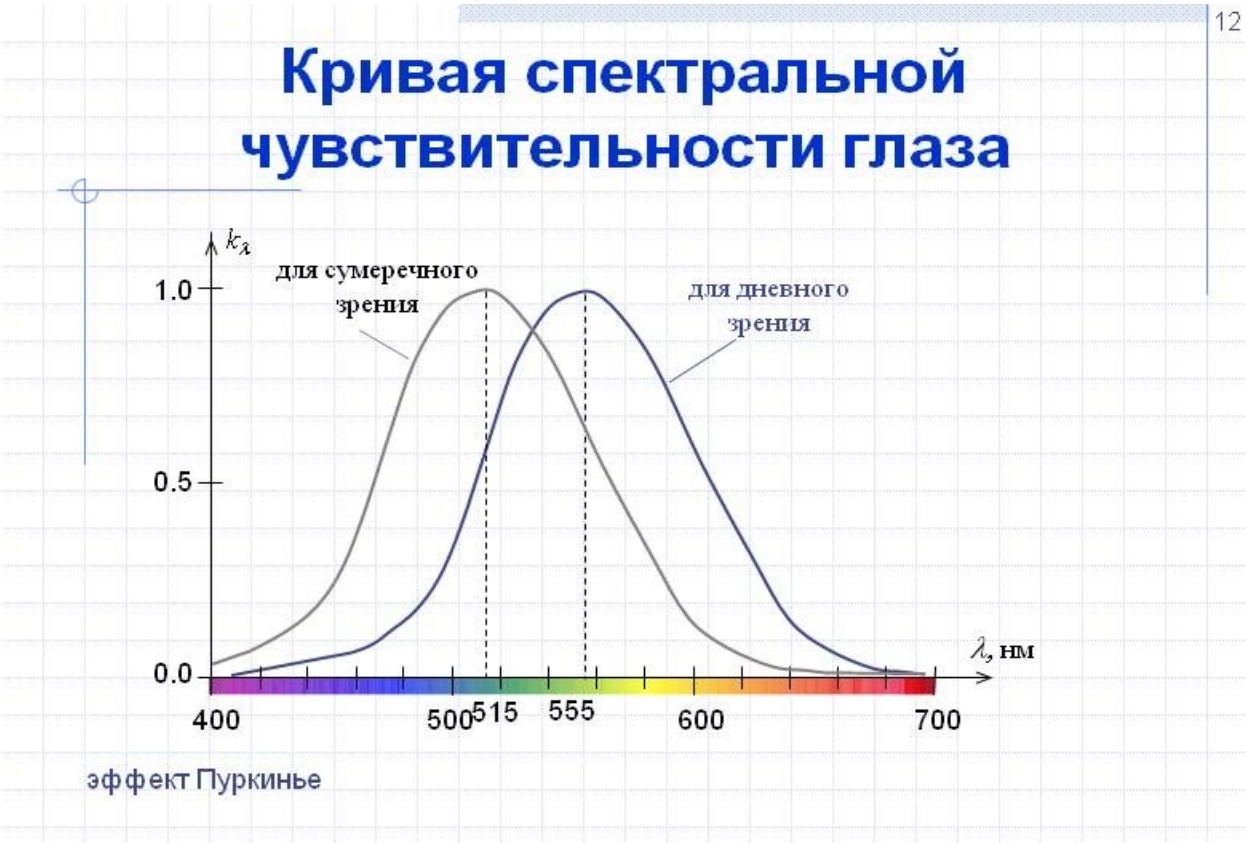



Рис. 3.1. Кривые спектральной чувствительности глаза $k_\lambda$ для дневного и сумеречного (ночного) зрения. Показан эффект Пуркинье. Сдвиг Пуркинье — явление изменения цветового восприятия человеческим глазом при понижении освещённости объектов. Красные цвета в сумерках кажутся более тёмными, нежели зелёные, а в ночное время — практически чёрными, в то время как синие объекты «становятся» более светлыми.

Кривая чувствительности колбочек (дневное зрение) лежит примерно между 380 и 750 нм с максимумом при 555 нм. Кривая чувствительности палочек (ночное зрение) сдвинута в коротковолновую часть спектра относительно дневного зрения примерно на 50 нм (максимум при 507 - 515 нм). Это смещение объясняет эффект Пуркинье: объекты разного цвета, но одинаковой яркости при дневном зрении воспринимаются глазом при сумеречном и ночном зрении как объекты различной яркости. Если света мало (в сумерки), человеческий глаз становится чувствительнее к синим цветам. Обратите внимание, ночью оттенки голубого и синего цвета кажутся значительно светлее, а красного становятся

черными. Цвет объекта, который мы видим, не является свойством этого объекта, это всего лишь наше сенсорное восприятие. Цветовое ощущение, вызванное определенным излучением (цветовой стимул), – это физиологическая реакция. Соответствие цвета определенной длине волны излучения приведено в табл.1.1.

Таблица 1.1. Длина волны излучений разных цветов.

| Цвет | Длина волны, нм |
|---|---|
| Фиолетовый | 380—440 |
| Синий | 440—485 |
| Голубой | 485—500 |
| Зеленый | 500—565 |
| Желтый | 565—590 |
| Оранжевый | 590—625 |
| Красный | 625—740 |

Свет - это электромагнитное излучение от источника. Длина волны светового излучения – определяющий фактор видимости света глазом человека. Спектр, доступный нашему глазу, располагается в промежутке 380-780 нанометров (нм).

В этом диапазоне излучение с различной длиной волны будет восприниматься глазом как свет разного цвета. Порядок цветов в точности повторяет строение радуги. Цвета в таблице 1.1. снизу вверх соответствуют цветам радуги (рис. 3.2) сверху вниз.

Рис. 3.2. Цвета в радуге.

Известно, что сумма всех цветов дает белый цвет, т. е. для получения белого света необходим излучение источника света во всех диапазонах длин волн. Однако на практике все не так просто. Все зависит от восприятия света человеческим глазом. При разном уровне освещенности (день, ночь) одинаковый цвет воспринимается человеческим глазом по-разному.

Основа строения человеческого глаза - рецепторы, которые реагируют на свет. Они бывают двух видов: палочки и колбочки. Палочки высокочувствительны к свету и действуют при слабой освещённости, отвечая тем самым за ночное зрение. Палочки видят синий край спектра лучше, чем колбочки, но зато колбочки видят, например, тёмно красный цвет, тогда как палочки его совершенно не могут увидеть.

Сравнительно низкая чувствительность к воздействию света, которой обладают колбочки, включает дневное зрение, действующее только при больших уровнях освещённости. Колбочки существуют трех видов, с разной чувстви-

тельностью к спектру. Поэтому они дают человеку информацию не только об уровне освещенности, но и дают глазу понимание цвета.

Различают хроматические цвета (одной длины волны) и ахроматические (белый, серый, черный). Насыщенность дает пропорция цвета в цветовом ответе (эквивалентно яркости для ахроматического цвета). Яркость характеризует интенсивность светового ответа. Яркость и насыщенность присущи хроматическому цвету, ахроматический цвет характеризуется только яркостью.

За цветное зрение отвечают колбочки, а за ощущение ахроматического цвета – палочки. Состояние глаза, при котором он адаптирован к цветному стимулу, называется цветовой адаптацией. Если объекты освещены не слишком ярким цветным источником, они проявятся в своих натуральных цветах спустя несколько минут.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Методика эксперимента.

Лабораторная работа выполняется на учебной установке ФМБ-12 (М) (К), имеющей сопряжение с персональным компьютером (ПК).

На дисплей ПК выводятся штриховые линии либо черные точки, расположенные на некотором расстоянии S друг от друга. Наблюдая одним глазом и отдаляясь от экрана, определяют расстояние ℓ, на котором точки (линии) перестают быть видимыми по отдельности. Искомый угловой предел разрешения $\varphi_{min}$ можно определить из геометрических соображений рис. 4.1.

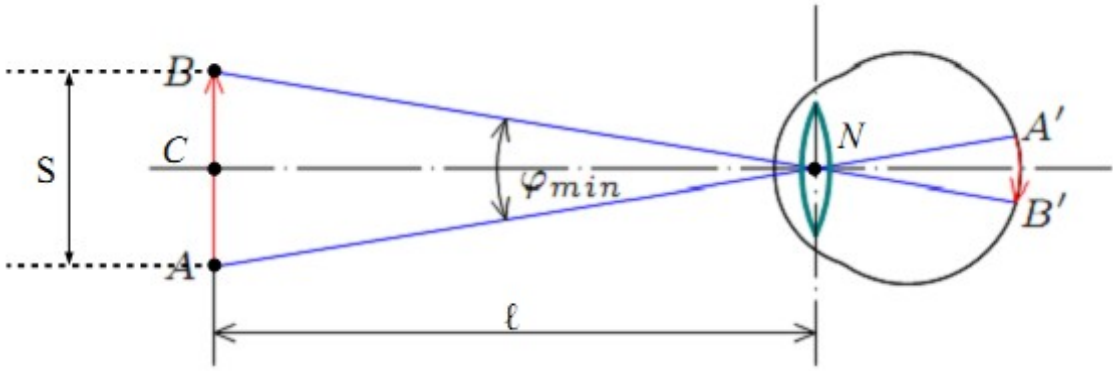



Рис. 4.1. К определению углового предела разрешения $\varphi_{min}$.

Пусть две точки (либо штриха) A и B расположены так, как показано на рисунке 4.1. Точка N – узловая точка, располагающаяся на оптической оси в центре хрусталика. Точки A, B, N являются вершинами равнобедренного треугольника ΔABN. Оптическая ось CN проходит таким образом, что точка C делит сторону AB треугольника ΔABN пополам. В равнобедренном треугольнике медиана, проведенная к основанию, является биссектрисой и высотой, тогда из треугольников ΔCBN=ΔACN рис. 4.1 получим: $tg\left(\frac{\varphi_{min}}{2}\right)=\frac{\left(\frac{S}{2}\right)}{l}=\frac{S}{2\cdot l}$, т. к. точка C делит отрезок AB=S пополам. В приближении малых углов $tg\left(\frac{\varphi_{min}}{2}\right)\approx\frac{\varphi_{min}}{2}$. Тогда $\frac{\varphi_{min}}{2}=\frac{S}{2\cdot l}$. И окончательно получим:

$$\varphi_{min}=\frac{S}{l} \qquad (2.1)$$

Формулу (2.1) можно также получить, используя выражение для дуги окружности. Считая AB=S элементом дуги окружности с центром в точке N и радиусом ℓ сразу получим $S\approx\varphi_{min}\cdot l$, откуда также получаем формулу (2.1).

Учебная установка снабжена набором узкополосных источников света со спектральной характеристикой, имеющей ярко выраженный максимум при определенной длине волны. Типичный вид спектральных характеристик светоизлучающих диодов показан на рис. 4.2.

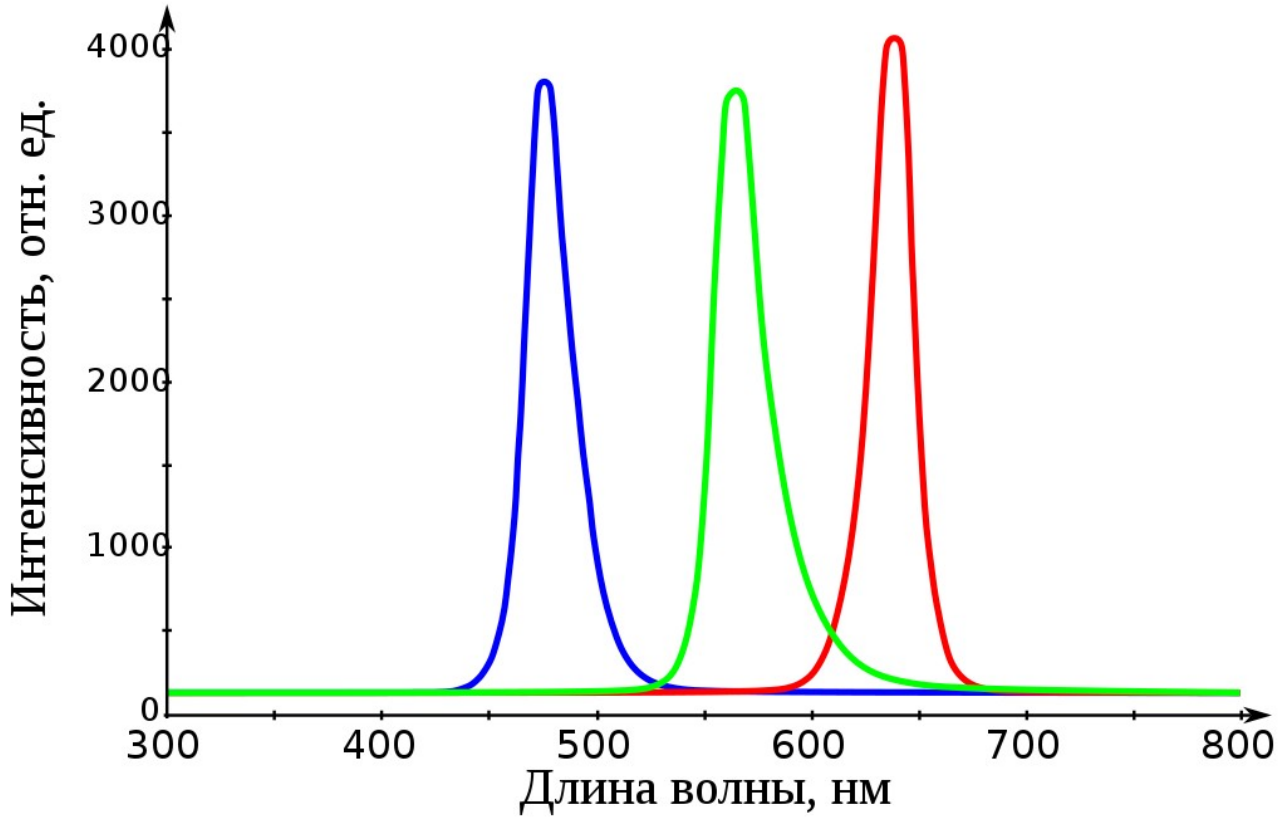



Рис. 4.2. Спектральная характеристика узкополосных источников света синего, зеленого и красного цветов.

Источник света испускает поток излучения (лучистый поток) $\Phi_e$ – энергию $W_e$ переносимую полем в единицу времени через данную поверхность, $\Phi_e = \frac{dW_e}{dt}$ [Дж/с]=[Вт]

Излучение источников подобрано таким образом, чтобы **энергетические (истинные, объективные) освещенности (облучённости)** $E_e$ от них в некоторой точке пространства были равны на всех длинах волн λ: $E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} = \text{const}$ . Величина $E_e$ имеет смысл плотности потока энергии, т. е. энергии, переносимой через единичную площадь поверхности в единицу времени [Вт/м$^2$]. В случае глаза dS – элемент площади чувствительной поверхности сетчатки.

Чувствительность оптического прибора $k$, в том числе и глаза, определяется как отношение изменения величины сигнала фотоприемника (фототока $I_Ф$ или фото-ЭДС $U_Ф$) к изменению величины падающего на него потока излучения $Ф_e$:

$$k=\frac{dU_{Ф}}{dФ_e} \tag{2.2}$$

В случае глаза $dU_Ф$ – изменение величины напряжения, возникающего в сетчатке и поступающего через зрительный нерв в затылочную часть коры головного мозга.

Под спектральной чувствительностью глаза (фотоприемника) $k_\lambda$ понимается чувствительность приемника к монохроматическому излучению с длиной волны λ, т. е. это реакция фотоприемника либо глаза на монохроматический поток излучения:

$$k_\lambda=\frac{dU_{Ф}}{dФ_{e\lambda}}=\frac{dU_{Ф}}{d\left(\varphi_{e\lambda}\cdot d\lambda\right)} \tag{2.3}$$

где $dФ_{e\lambda}$ – изменение потока падающего монохроматического излучения; $\varphi_{e\lambda}$ – спектральная плотность падающего на фотоприемник излучения в интервале длин волн dλ, $Ф_{e\lambda}=\int_{\lambda_1}^{\lambda_2}\varphi_{e\lambda}\cdot d\lambda\approx\varphi_{e\lambda}\cdot\Delta\lambda$ .

Т. к. измерение напряжения, возникающего в зрительном нерве невозможно, то спектральную чувствительность глаза на данной длине волны находят «условно» по субъективным ощущениям. Как было сказано выше, излучение источников подобрано таким образом, чтобы **энергетические (истинные, объективные) освещенности (облучённости)** $E_e$ от них в некоторой точке пространства были равны на всех длинах волн λ: $E_e=\frac{dФ_e}{dS}=\text{const}$ . Если $E_e$=const, то можно считать, что поток энергии, проходящий через сетчатку с площадью чувствительной поверхности ΔS равен $\Delta Ф_e=\int_{Ф_1=0}^{Ф_2=Ф_e}dФ_e=\int_S E_e dS\approx E_e\cdot\Delta S$ и остаётся постоянным для всех источников света при всех длинах волн, т. е. $Ф_e$=const; $Ф_{e\lambda}$=const.

Считая характеристику глаза линейной, т. е., когда с изменением падающего потока $\Phi_{e\lambda}$ отношение (2.3) остается постоянным, запишем (2.3) в виде:

$$k_\lambda = \frac{\Gamma}{\Phi_{e\lambda}} \tag{2.4}$$

где Г — субъективное ощущение воздействия света на глаз («условная» яркость), которую можно охарактеризовать в единицах от 0 до 100, где 0 — полное отсутствие воздействия на зрительный анализатор (излучения не видно), 100 — максимальное возможное воздействие (максимальная видимая яркость). Т. к. $\Phi_{e\lambda}$=const, то можно принять $\Phi_{e\lambda}$=const=1 [Вт] для всех длин волн λ.

Тогда формула (2.4) перепишется в простом виде:

$$k_\lambda = \Gamma \tag{2.5}$$

Таким образом, воздействую на глаз источниками света, создающими в данной точке пространства (там где находится глаз) постоянную на всех длинах волн энергетическую освещенность $E_e$, можно провести исследование спектральной чувствительности глаза и получить кривую, аналогичную рис. 3.1.

Следует отметить, что измерения описанными выше методами носят скорее качественный и оценочный характер ввиду принятых допущений.

**Аппаратная часть. Приборы и оборудование.**

Лабораторная работа выполняется на комбинированном учебном комплексе ФМБ-12(М) (К), имеющим сопряжение с ПК. Вся информация об эксперименте, установленные и измеренные значения параметров выводятся в соответствующие окна программы - оболочки для работы с установкой – LabVisual 3. Лабораторный комплекс работает в сопряжении с ПК. Блок — схема эксперимента приведена на рис. 5.1.

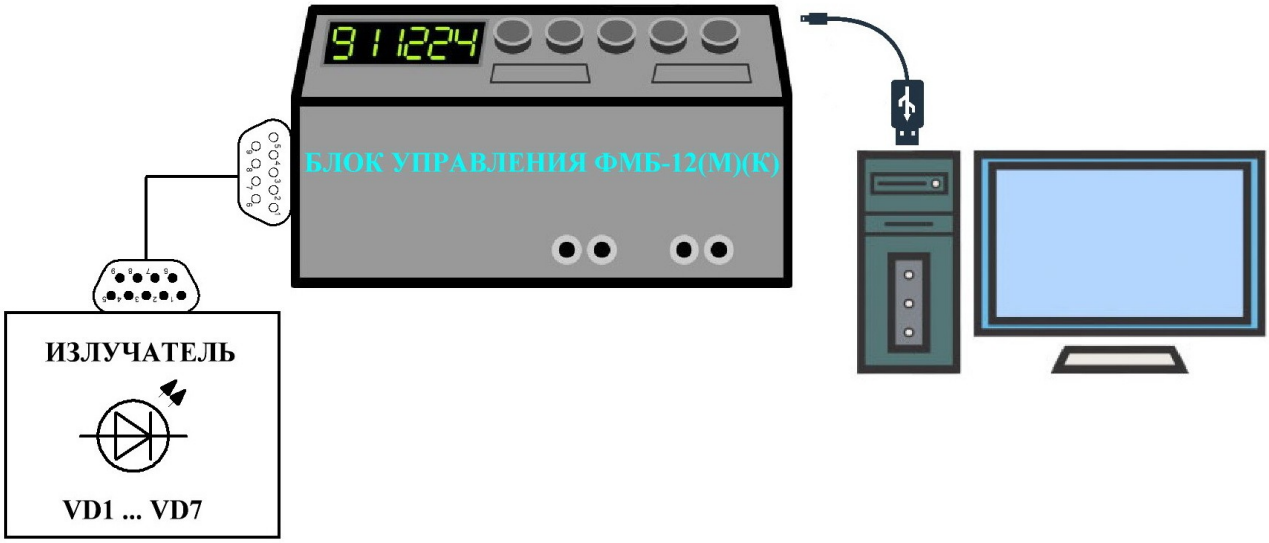



Рис. 5.1. Блок схема (упрощённая) учебной установки ФМБ-12 (М) (К).

Лабораторный комплекс состоит из нескольких блоков. Блок «ИЗЛУЧАТЕЛЬ», содержащий семь узкополосных источников излучения (светодиодов с узкой спектральной характеристикой, имеющей ярко выраженный максимум при определенной длине волны), соединяется с «БЛОКОМ УПРАВЛЕНИЯ» специальным проводом из комплекта. Кнопки управления «ДЛИНА ВОЛНЫ», расположенные на передней панели «БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ», предназначены для переключения излучателей. Длина волны максимума спектральной характеристики излучателя указана на встроенном в прибор ЖКД LCD индикаторе. Излучение источников подобрано таким образом, чтобы **энергетические (истинные, объективные) освещенности (облучённости)** $E_e$ от них в некоторой точке пространства были равны на всех длинах волн λ. «БЛОК УПРАВЛЕНИЯ» подключается к любому свободному USB — порту ПК.

Эксперимент состоит из двух опытов: 1) оценка спектральной чувствительности глаза и диапазона длин волн видимого света, воспринимаемых глазом; 2) оценка разрешающей способности глаза.

**Прибор питается от USB – порта ПК (напряжение питания 5,00±0,05 В), поэтому кнопка «СЕТЬ» и сетевой кабель отсутствуют.**

## Программная часть.
## Подготовка к работе.

Учебная установка частично может работать как в автономном режиме, без использования ПК, так и в автоматизированном режиме с персональным компьютером.

Для сопряжения работы учебной установки с персональным компьютером используется специально разработанный протокол передачи данных LabVisual, разделяющий байты управления и байты данных. Для визуализации принятых данных служит программа-оболочка LabVisual. Установка подключается к USB порту компьютера при помощи специального соединительного кабеля.

Программа LabVisual может успешно работать как на компьютерах под управлением ОС Windows Xp/Vista/7/8/10/11 **(32/64 битные версии)** так и на компьютерах под управлением ОС Linux при помощи эмулятора среды окружения VirtualBox. На прилагаемых дисках в соответствующих папках содержатся сборки программ для установки и работы в этих операционных системах.

**Подробная инструкция по установке среды LabVisual содержится в прилагаемом руководстве к программе.**

В комплекте с лабораторной установкой поставляется ПЭВМ с предустановленным дистрибутивом среды LabVisual и установленным и настроенным программным обеспечением (всё предустановленное программное обеспечение поставляется согласно лицензии GNU GPL v2 и является свободным и бесплатным, если не оговорено обратное; подробно см. п. 1.1 и пп. 4 — 5 Руководства к среде LabVisual).

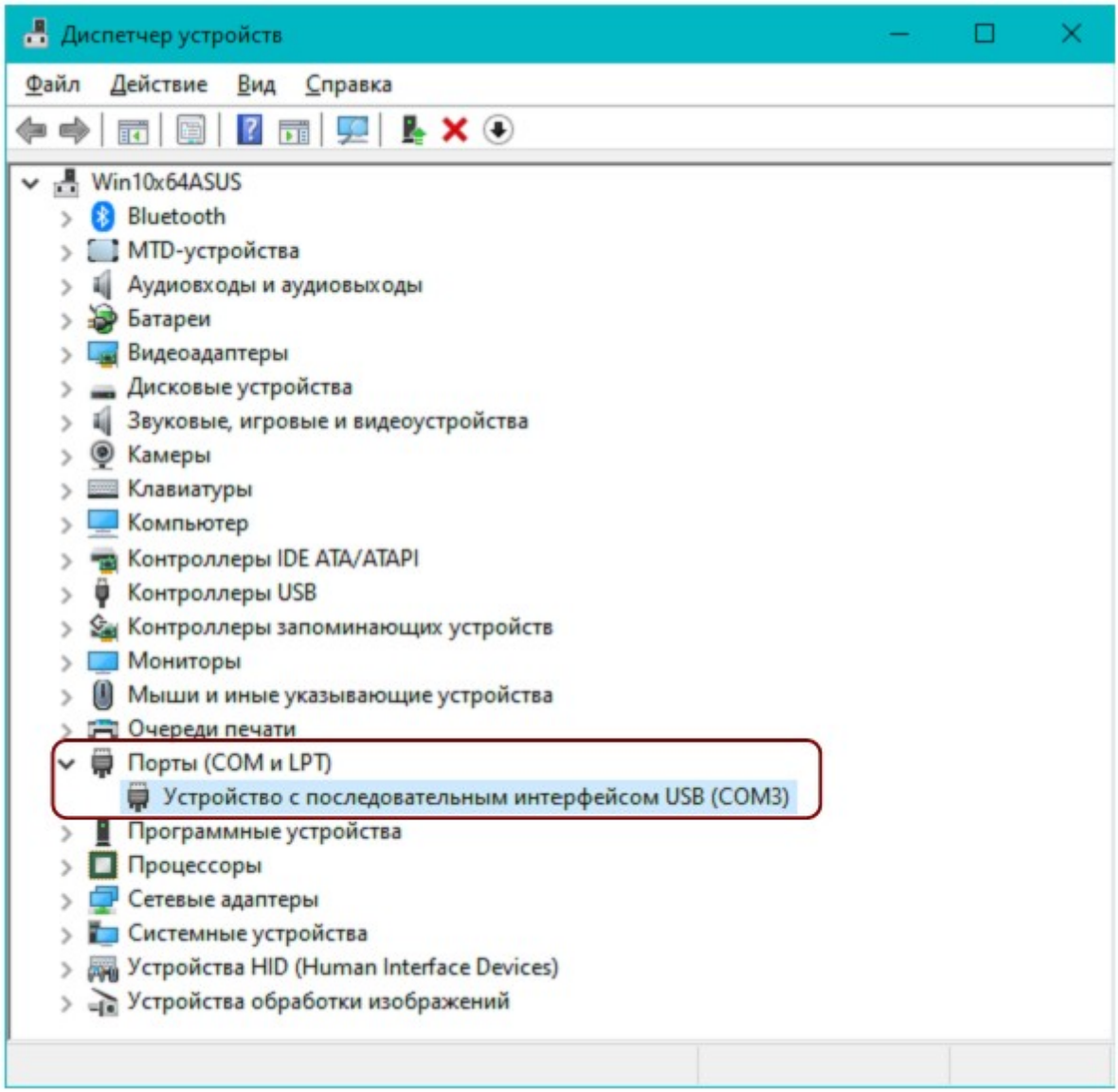
После загрузки операционной системы (~ 1 мин.) должна автоматически запуститься программа оболочка LabVisual для работы с экспериментальной установкой. Если программа не запустилась автоматически, на виртуальном рабочем столе следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на ярлык LabVisual. При этом должно открыться главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой (рис. 6.1).

Программа LabVisual имеет интуитивно понятный, дружественный пользователю интерфейс.

Во избежание сбоев в работе, сопряжение с ПК посредством USB – порта и конфигурация USB-передатчика на учебном приборе осуществляется в специальном порядке.

**Для работы в автоматизированном режиме с ПК необходимо:**

1) Соединить USB выход прибора с USB портом ПК соединительным кабелем типа USB A-B. Рекомендованная длина соединительного кабеля не более 1,8 м.
2) Запустить программную среду LabVisual для работы с прибором.
3) При необходимости установить драйверы виртуального COM – порта.
4) Убедиться, что устройство корректно зарегистрировалось в системе. Для этого запустить Диспетчер Устройств Windows. В диспетчере устройств в разделе «Порты COM и LPT» должно появиться устройство: «Устройство с последовательно соединённым интерфейсом USB (COMX»), где X – номер виртуального COM – порта, присвоенного системой. При установке оригинального драйвера устройство может называться STMicroelectronics Virtual Com Port (COMX).



5) Если устройство не определилось (виден символ устройства с восклицательным знаком «!», код ошибки 10, код ошибки 43), то следует удалить данное устройство нажатием правой кнопки мыши из списка устройств, отключить прибор от USB – порта ПК и не менее чем с 5 секундной паузой повторить подключение.
6) В среде LabVisual выбрать виртуальный COM – порт, присвоенный системой (см. рис. 6.2). Для этого нажать кнопку «СКАНИРОВАТЬ», выбрать COM – порт по присвоенному номеру, а затем нажать «СОЕДИНИТЬ»
7) Приступить к выполнению эксперимента.

**ВНИМАНИЕ!!! На задней стенке учебной установки, рядом со служебным 9 – PIN разъёмом (при его наличии), может находиться кнопка входа в режим обновления встроенного в микроконтроллер прибора программного обеспечения («перепрошивка»). Перед запуском прибора кнопку необходимо отжать!**

После соединения прибора с USB – портом ПК и запуска среды LabVisual должно открыться главное окно программы-оболочки рис. 6.1.

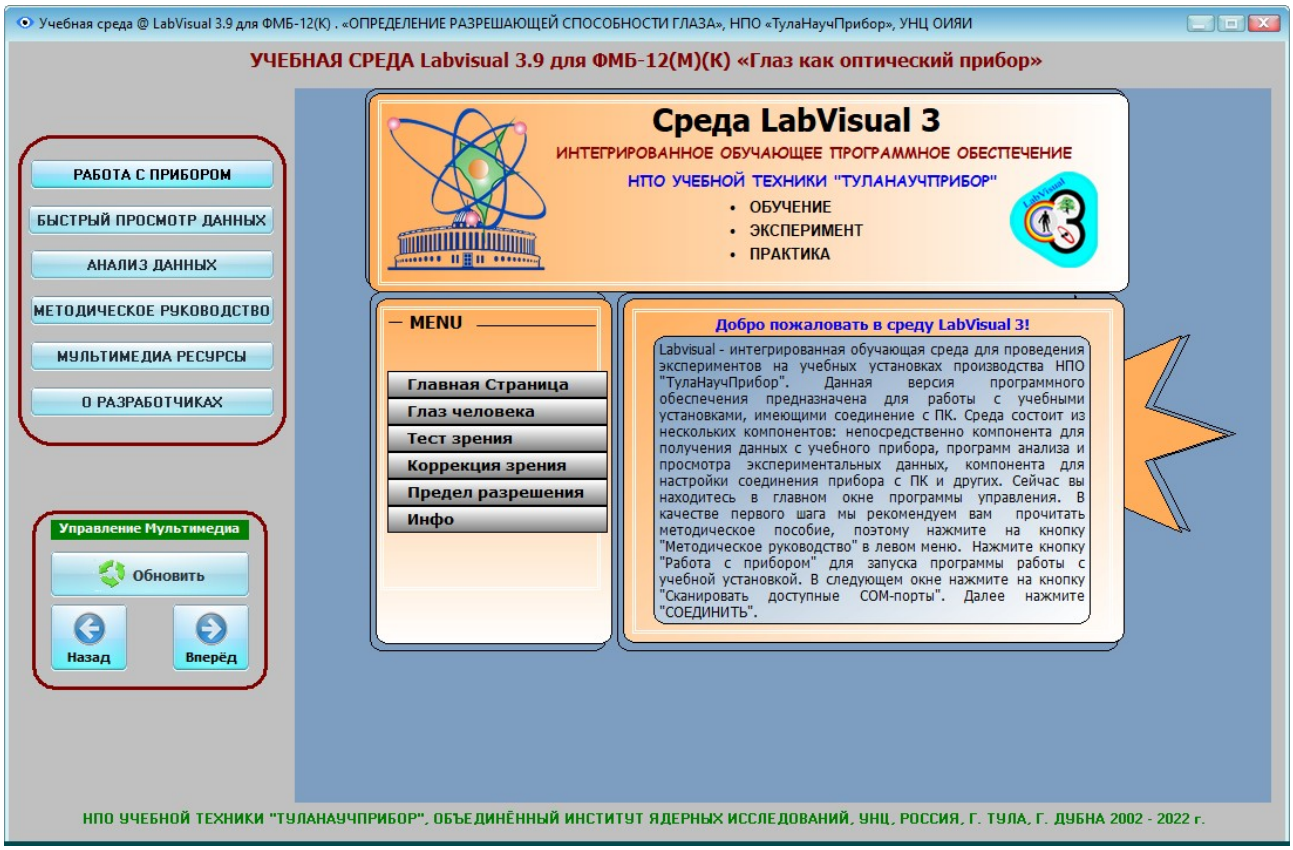



Рис. 6.1. Главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой.

Перед началом работы с программой рекомендуется ознакомиться с предлагаемыми мультимедиа ресурсами, запускаемыми нажатием соответствующей кнопки в программе.

Для начала работы с прибором, в главном окне программы следует нажать кнопку «РАБОТА С ПРИБОРОМ». При этом запускается необходимая подпрограмма для измерения рис. 6.2 «Определение спектральной чувствительности глаза».

Рис. 6.2. Эксперимент «Определение спектральной чувствительности глаза».

Перед началом работы следует осуществить предварительную настройку соединения прибора с ПК. Для этого нажмите кнопку «СКАНИРОВАТЬ ДОСТУПНЫЕ COM – ПОРТЫ», выберите виртуальный COM – порт, присвоенный системой после соединения прибора с ПК, и нажмите «СОЕДИНИТЬ». Устройство готово.

Выбор узкополосного источника излучения осуществляется нажатием соответствующей кнопки в программе-оболочке либо кнопками управления на «БЛОКЕ УПРАВЛЕНИЯ» в приборе.

Для перехода к эксперименту «Определение разрешающей способности глаза» нажмите кнопку «ЗАПУСК» в программе, при этом откроется окно рис. 6.3.

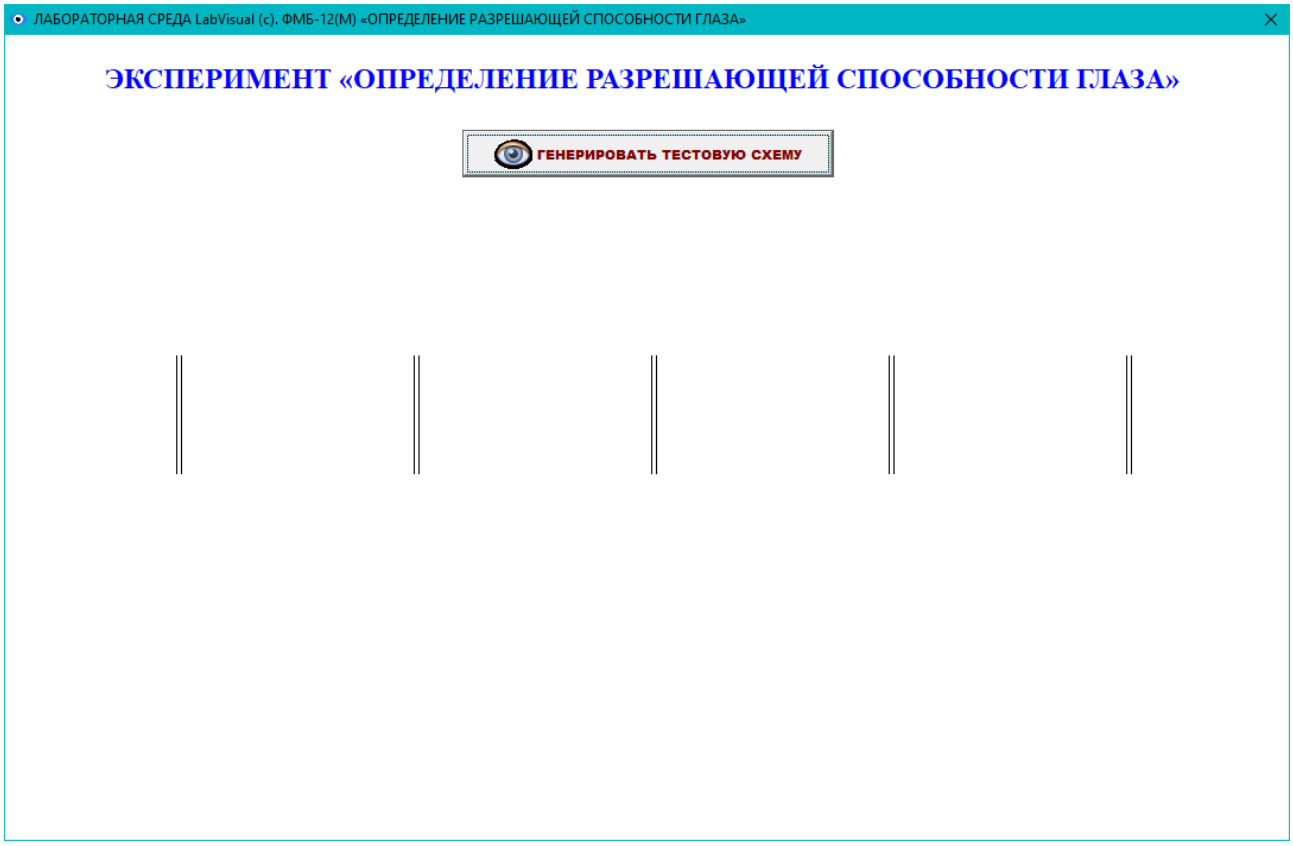



Рис. 6.3. Эксперимент «Определение разрешающей способности глаза».

Нажмите кнопку «ГЕНЕРИРОВАТЬ ТЕСТОВУЮ СХЕМУ» для генерации серии близко расположенных линий. Линейное расстояние между близко расположенными линиями составляет в среднем S=(1,0±0,2) мм.

Эксперимент по определению разрешающей способности глаза может проводиться без подключения блока управления к персональному компьютеру.

Для визуализации данных можно воспользоваться подпрограммами, вызываемыми кнопками «ВИЗУАЛИЗИРОВАТЬ» либо «АНАЛИЗИРОВАТЬ».

Для визуализации сохраненных данных можно использовать компонент LabVisual Data Analizer, вызываемый нажатием кнопки «ВИЗУАЛИЗИРОВАТЬ» из главного окна программы-оболочки см. рис. 6.4.

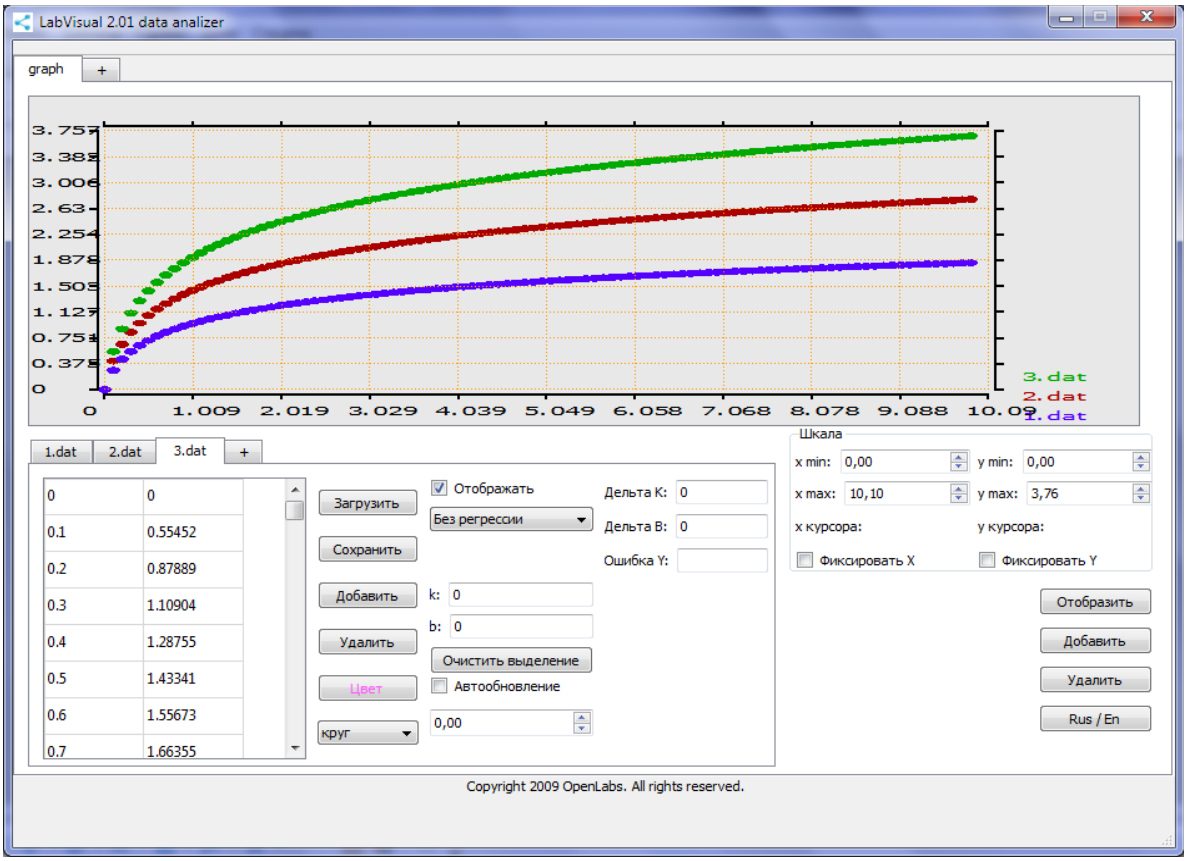



Рис. 6.4. Пример работы компонента LabVisual Data Analizer.

Для загрузки какого-либо файла данных служит кнопка «ЗАГРУЗИТЬ», для отображения загруженных данных, а также после каких-либо внесенных изменений в график (цвет, символы для отображения и т. д.) следует нажимать кнопку «ОТОБРАЗИТЬ» для перерисовки. Открыв несколько вкладок данных нажатием на вкладку «+» и, загрузив в каждую вкладку данные из сохраненных файлов-данных, можно отобразить на рабочем поле семейство характеристик, так как это представлено на рис. 6.4. Вкладка «+» для графиков служит для создание нескольких рабочих областей графиков, в каждую из которых также можно загрузить данные.

Для подробного анализа экспериментальных данных и построения графиков также можно воспользоваться специальным компонентом LabVisual «MagicPlot», вызываемым нажатием кнопки «АНАЛИЗИРОВАТЬ» рис. 6.5.

**ВНИМАНИЕ! Для работы компонента MagicPlot для анализа данных необходимо установить последнюю версию исполняющей среды Java 7 либо 8 (Runtime библиотеки виртуальной машины Java).**

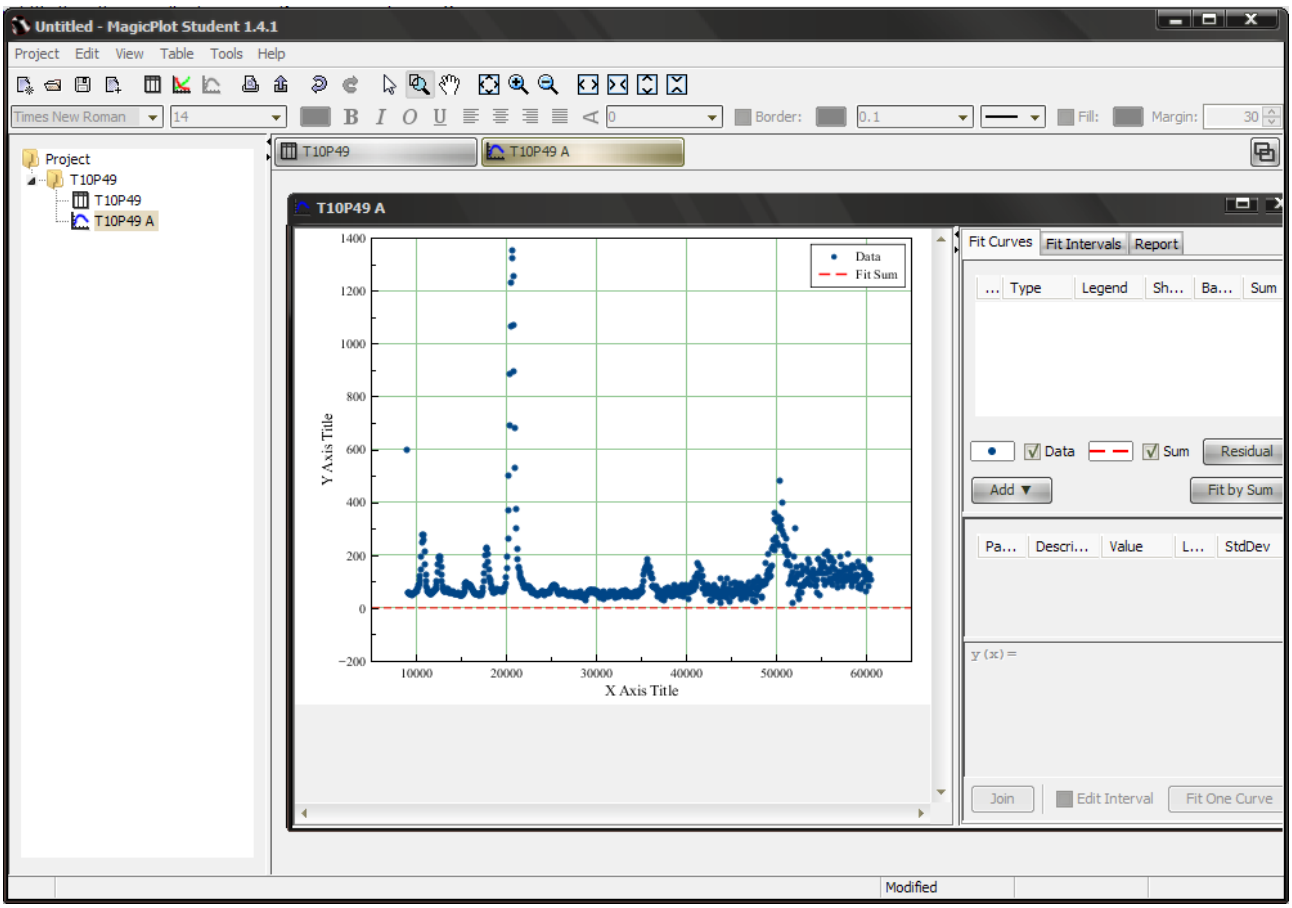



Рис. 6.5. Пример работы компонент MagicPlot для анализа данных, получаемых на лабораторной установке.

## Программный модуль «ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ».
## Эксперимент-3.

Среда LabVisual позволяет дополнительно провести виртуальный эксперимент с помощью входящего в комплект модуля «ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ», запускаемого нажатием кнопки «ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ» из главного окна программы-оболочки рис. 7.1.

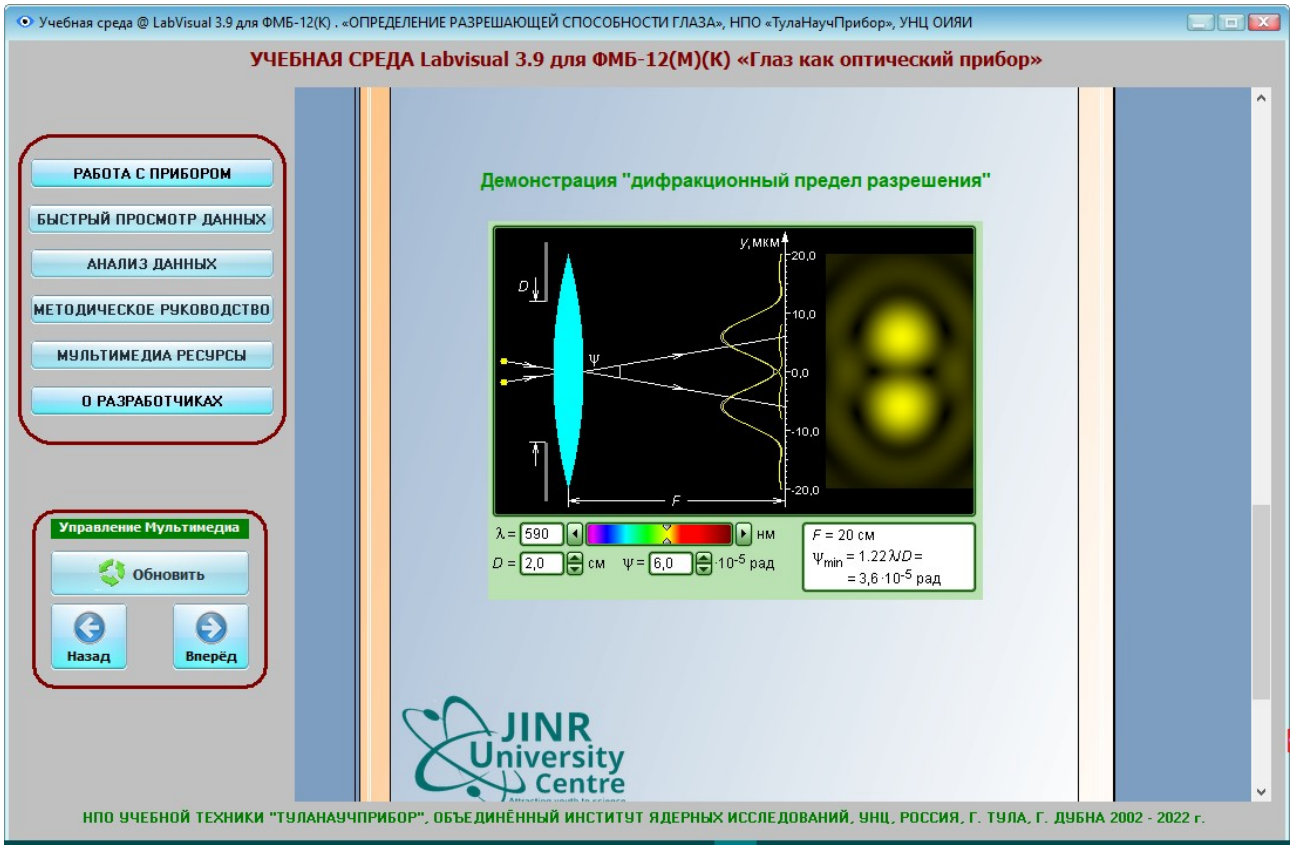



Рис. 7.1. Виртуальный эксперимент «ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ».

Демонстрация предназначена для изучения влияния дифракции на предел разрешения объектива зрительной трубы (телескопа). Модель является компьютерным аналогом опыта по наблюдению двух близких точечных источников с помощью небольшой зрительной трубы.

Можно изменять длину волны λ, диаметр D открытой части объектива (диафрагментирование) и угловое расстояние ψ между двумя источниками света. Компьютер воспроизводит на экране наблюдаемые дифракционные изображения источников и распределение интенсивности света в дифракционных изображениях.

Обратите внимание, что размытие дифракционных изображений усиливается при увеличении длины волны λ и уменьшении диаметра объектива D.

**Порядок выполнения.**

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора. **На данном шаге НЕ подключайте прибор к USB порту ПК.**
2. Соединить монитор с системным блоком ПЭВМ, подключить клавиатуру и мышь к системному блоку используя стандартные провода для подключения. Подключить системный блок ПЭВМ и монитор к сети ~220 В.
3. Загрузить операционную систему согласно стандартным процедурам загрузки.
4. При необходимости, настроить компьютер для работы с учебной установкой согласно прилагаемому руководству к среде LabVisual.
5. **Подключить установку к USB порту ПК согласно пункту «Программная часть. Подготовка к работе». ВНИМАНИЕ!!! На задней стенке учебной установки, рядом со служебным 9 – PIN разъёмом (при его наличии), может находиться кнопка входа в режим обновления встроенного в микроконтроллер прибора программного обеспечения («перепрошивка»). Перед запуском прибора кнопку необходимо отжать!**
6. Запустить программу LabVisual для работы с учебной установкой для данного эксперимента пользуясь ярлыком на рабочем столе либо другим способом, указанным лаборантом.

## ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

7. Подключить БЛОК «ИЗЛУЧАТЕЛЬ» к «БЛОКУ УПРАВЛЕНИЯ» учебной установки.
8. Приступить к выполнению эксперимента «Определение спектральной чувствительности глаза». Эксперимент желательно проводить в затемнённой комнате.
9. Попеременно включая кнопками управления «ДЛИНА ВОЛНЫ» по порядку один из семи узкополосных источников света, определить по субъективным ощущениям тот источник света (ту длину волны), субъективная яркость ***Г*** которого максимальна. Записать значение цвета источника излучения и длину волны в специальную таблицу. Яркость данного источника ***Г*** принять условно за 100 единиц.
10. Включая кнопками управления «ДЛИНА ВОЛНЫ» другие источники, определить условно их субъективные яркости ***Г*** в диапазоне от 0 (ничего не видно) до 100 (максимальная яркость) по степени воздействия на Ваш зрительный аппарат.
11. Отметим, что источник инфракрасного излучения глазом практически не

виден, и едва различим лишь в полной темноте, например, при разглядывании через ладонь, свёрнутую в трубочку, как в детской игре «телескоп».

12. Построить график зависимости субъективной яркости ***Г*** от длины волны λ источника излучения Г=Г(λ). Согласно формуле (2.5) данный график в некотором масштабе будет соответствовать спектральной чувствительности вашего глаза
13. Эксперимент рекомендуется проделать для левого и правого глаза отдельно, закрывая глаз, не участвующей в опыте.
14. Сравнить полученные результаты с данными рис. 3.1.
15. Перейти к эксперименту «Определение разрешающей способности глаза». Для этого нажмите кнопку «ЗАПУСК» в программе, при этом откроется окно рис. 6.3.
16. Нажмите кнопку «ГЕНЕРИРОВАТЬ ТЕСТОВУЮ СХЕМУ» для генерации серии близко расположенных линий. Линейное расстояние между двумя близко расположенными линиями составляет в среднем S=(1,0±0,2) мм.
17. Эксперимент по определению разрешающей способности глаза может проводиться без подключения блока управления к персональному компьютеру.
18. Выполнять измерения удобно вдвоём. Один из экспериментаторов наблюдает на экране чёрные штрихи, а второй измеряет с помощью рулетки максимальное расстояние ℓ от глаза наблюдателя до этого экрана, при котором два штриха ещё видны раздельно.
19. С помощью линейки определите точное расстояние S между двумя близко расположенными линиями на экране, т. к. оно может изменяться в зависимости от подключённого монитора.
20. Установите перед правым глазом соосно экран монитора, левый глаз прикройте. Выберите наиболее чётко различимые две близко лежащие линии (два штриха).
21. Постепенно, удаляясь от экрана, определите максимальное расстояние ℓ, на котором две линии сливаются в одну.
22. Искомое минимальное угловое расстояние $\varphi_{min}$ между штрихами определить по формуле (2.1): $\varphi_{min}=\frac{S}{l}$ [рад], где S и ℓ берите в мм. Так как величина угла получена в радианах, переведите ее в минуты дуги по формуле $\varphi_{min}=\frac{360^{\circ}\cdot 60'}{2\pi}\cdot\frac{S}{l}\approx 3438\cdot\frac{S}{l}$ [минуты дуги], [угловые минуты], ['].

    При этом по определению: $1'=\left(\frac{1}{60}\right)^{\circ}$ .
23. По формуле (1.5) рассчитайте разрешающую способность глаза ***R*** в СИ, для этого берите полученное экспериментальное значение $\varphi_{min}$ в радианах.

24. По формуле (1.11) рассчитайте остроту зрения ***V*** в относительных единицах, для этого берите полученное экспериментальное значение $\varphi_{min}$ в минутах дуги.
25. Исследуйте зависимость $\varphi_{min}$ от диаметра зрачка. Для этого используйте пластинки с круглыми отверстиями с диаметрами ***d*** от 0,5 до 4 мм, ограничивающими рабочую площадь зрачка глаза. При этом старайтесь, чтобы свет не попадал в зрачок мимо отверстия, в противном случае диаметр зрачка может быть меньше диаметра отверстия в пластинке.
26. Рассматривая штрихи на экране через отверстие в пластинке, повторите действия пп. 19 — 24, записывая в специальную таблицу значение ***d***, экспериментально определённое значение $\varphi_{min}$, разрешающую способность глаза ***R*** в СИ и остроту зрения ***V***.

**Правый/Левый глаз**

| ***d***, мм | 0,5 | 0,8 | 1 | … | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\varphi_{min}=\frac{S}{l}$ , [радиан] | | | | | |
| $\varphi_{min}=3438\cdot\frac{S}{l}$ , [угл. минуты] | | | | | |
| $R=\frac{1}{\varphi_{min}\ [\text{рад}]}$ , [ед.] | | | | | |
| $V=\frac{1}{\varphi_{min}\ [\text{угл. минуты}]}$ , [ед.] | | | | | |

27. Повторите аналогичные действия для левого глаза.
28. Разрешающая способность ***R*** глаза как оптической системы зависит от диаметра зрачка ***d***. Если перед глазом расположен непрозрачный экран с отверстием, диаметр которого меньше диаметра зрачка, то разрешающая способность глаза ***R*** уменьшается вследствие дифракции света на отверстии.
29. Постройте график зависимости угла $\varphi_{min}$, ***R*** и ***V*** от диаметра ***d*** отверстия для обоих глаз (в одной системе координат). Обычно $\varphi_{min}$ принимает наиболее высокое значение (наихудшее – наименьшее разрешение ***R***) при наименьшем значении диаметра ***d*** отверстия вследствие дифракции и постепенно уменьшается с ростом ***d***. Соответственно разрешение ***R*** растёт с ростом эффективного диаметра ***d*** до некоторого предела.
30. Установите значение угла – $\varphi_0$, которое практически не уменьшается при дальнейшем увеличении диаметра отверстия ***d*** перед глазом.
31. Оцените линейные размеры светочувствительных элементов сетчатки глаза – колбочек – ***a***. В расчётах можно принять, что расстояние от рого-

вицы до сетчатки глаза в среднем равно $\boldsymbol{r} \approx 18$ мм=$18\cdot10^{-3}$ м, и считать, что два точечных источника света регистрируются глазом как раздельные, если расстояние между их изображениями на сетчатке превышает удвоенный размер колбочки, тогда:

$$a=\frac{\varphi_0 r}{2}$$

Расчёты производите в СИ. Для этого $\varphi_0$ берётся в [радианах], $\boldsymbol{r}$ в [метрах]. Тогда вы получите значение $\boldsymbol{a}$ в [метрах]. Переведите полученное значение линейного размера колбочек $\boldsymbol{a}$ в [мм].

32. Проведите теоретический расчет наименьшего углового расстояния $\varphi_0$, используя данные, приведенные в приложении к работе по формуле (1.4): $\varphi_{min}\approx\varphi_0\approx1{,}22\left(\frac{\lambda}{d}\right)$ . При расчетах по формуле (1.4) длина волны света берётся равной 550 нм=$550\cdot10^{-9}$ м. За $\boldsymbol{d}$ принять диаметр отверстия, при котором практически перестаёт изменяться разрешающая способность глаза. Фактически, в данном случае $\boldsymbol{d}$ – это диаметр зрачка, который при нормальном освещении в среднем можно принять равным
$\boldsymbol{d} \approx 3$ мм=$3\cdot10^{-3}$ м. Расчёты производите в СИ, тогда вы получите $\varphi_0$ в радианах.
33. Сделайте выводы из Вашего эксперимента. Используя результаты своих измерений, оцените предельное расстояние на котором Ваши глаза различают оконный переплет рам в домах, видимых из окон университета.
34. Проделать виртуальный ЭКСПЕРИМЕНТ — 3 «ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ». Для этого запустить эксперимент нажатием кнопки «ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ» из главного окна программы-оболочки рис. 7.1. Сделать вывод о влиянии длины волны света $\lambda$ источников и диаметра D открытой части объектива на разрешение прибора.
35. По окончании работы следует закрыть программу-оболочку LabVisual и все открытые подпрограммы, закрыть виртуальную среду VirtualBox (при работе в среде Linux).
36. По окончании измерений отключить учебную установку от USB – порта ПК. **После перезагрузки ПК с подключённым к USB порту прибором, учебную установку следует переинициализировать, отключив и заново подключив шнур USB от прибора.**
37. Выключить компьютер, нажав на кнопку, находящуюся в крайнем нижнем левом углу экрана. Из доступных действий выбрать «ВЫХОД»--> «ВЫКЛЮЧИТЬ КОМПЬЮТЕР».

# ПРИЛОЖЕНИЕ.
# ПАРАМЕТРЫ СРЕДНЕГО ЗДОРОВОГО ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА.

| | |
|---|---|
| Диаметр глазного яблока у взрослого человека | 23–24 мм |
| Диаметр глазного яблока у новорождённого | около 16 мм |
| Объём глазного яблока | 6,5 см$^3$ |
| Масса | 15 г |
| Число палочек в сетчатке глаза | около 7 млн шт. |
| Число колбочек в сетчатке глаза | около 100 млн шт. |
| Показатель преломления роговицы | 1,38 |
| Показатель преломления водянистой влаги и стекловидного тела | 1,34 |
| Показатель преломления вещества хрусталика | 1,44 |
| Оптическая сила роговицы | 40 дптр |
| Фокусное расстояние хрусталика | 69,6 мм |
| Фокусное расстояние (переднее) полной системы глаза | 17,06 мм |
| Фокусное расстояние (заднее) полной системы глаза | 22,78 мм |
| Оптическая сила полной системы глаза | 58,64 дптр |
| Диаметр зрачка при очень больших яркостях | до 2 мм |
| Диаметр зрачка при очень малых яркостях | 6–8 мм |

| | |
|---|---|
| Наименьшая световая энергия, которую способен воспринимать привыкший к темноте (адаптированный) глаз | $\approx 10^{-17}$ Дж |
| Наименьший световой поток, воспринимаемый адаптированным глазом (соответствует энергии нескольких десятков фотонов в секунду) | $\approx 2\cdot10^{-5}$ Вт |
| Высота полета самолета, с которой летчик в ясную безлунную звездную ночь может увидеть свет свечи | ≈ 4…9 км |
| Наименьшая освещенность, при которой адаптированный глаз отличает белую поверхность от черной | $\approx 10^{-6}$ лк |
| Диаметр | |
| зрачка при освещении: | |
| сильном | до 2 мм |
| слабом | до 7 мм |
| хрусталика | около 10 мм |
| Фокусное расстояние полной системы глаза: | |
| переднее | 17,055 мм |
| заднее | 22,78 мм |
| Фокусное расстояние хрусталика | 69,9 мм |
| Преломляющая сила: | |
| полной системы глаза | 58,64 дптр |
| хрусталика | 19,11 дптр |

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1 В чем заключается явление дифракции?
2 Что называется разрешающей способностью оптического прибора?
3 Сформулируйте критерий Рэлея.
4 От чего зависит разрешающая способность оптических приборов? Каким образом ее можно увеличить?
5 Меняется ли разрешающая способность глаза в зависимости от внешней освещенности? Если меняется, то как и почему?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1 Савельев И.В. Курс общей физики: Учебн. пособие для втузов. В 5-ти кн.: Кн. 4. Волны. Оптика. – М.:Астрель, АСТ, 2003. – 256 с.: ил.

2 Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 718 с.: ил.

3 Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 542 с.: ил.

4 Сивухин Д.В. Общий курс физики: Учебник. В 5-ти т.: Т. IV. Оптика. – М.: Наука, 1980. – 752 с.: ил.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ**
**НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**