

ОПТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

**ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ (лк – 3ч., практ. зан. – 2ч.,
РЗ, экз.)**

Физиологическая оптика и колориметрия

Доц., к.т.н. Снетков Владимир Юрьевич

SVY.2011@yandex.ru

ПРЕПОДАВАТЕЛИ, ВЕДУЩИЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

■ ***КИСТЕНЁВА АННА
ВЯЧЕСЛАВОВНА***

anna.kisteneva@rambler.ru

■ ***РЫБИНА ВИКТОРИЯ АНДРЕЕВНА***

dayzamina@gmail.com

■ ***МАРТЫНОВ ВЛАДИМИР
НИКОЛАЕВИЧ***

Контроль по балльно-рейтинговой структуре (БАРС)

КМ-1: устный опрос по оптической части зрительной системы (ЗС) – 3 неделя (19 февраля 2020 г.).

КМ-2: контрольная работа по ЗС и её пороговым характеристикам – 7 неделя (практические занятия).

КМ-3: устный опрос по установленным и не установленным процессам – 11 неделя.

КМ-4: расчётное задание по

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. МЕШКОВ В.В., МАТВЕЕВ А.Б. ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ. Ч. 2, 1989
- 2. МЕШКОВ В.В., МАТВЕЕВ А.Б. ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ. Ч. 1, 1979
- 3. ЛУИЗОВ А.В. ГЛАЗ И СВЕТ, 1983
- 4. ГРИГОРЬЕВ А.А. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ВОСПРИЯТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СВЕТОТЕХНИКЕ. Обнаружение объектов наблюдателем, 2003
- 5. БООС Г.В., ГРИГОРЬЕВ А.А., СНЕТКОВ В.Ю. ЦВЕТ И ЦВЕТОВЫЕ РАСЧЁТЫ, 2017

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

(продолжение)

- 6. ЛУДИЗОВ Д.В. ГЛАЗ И ЦВЕТ, 1989
- 7. ХЬЮБЕЛ Д. ГЛАЗ, МОЗГ, ЗРЕНИЕ, 1990
- 8. ДЖАДД Д., ВЫШЕЦКИ Г. ЦВЕТ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ, 1987
- 9. СПРАВОЧНАЯ КНИГА ПО СВЕТОТЕХНИКЕ, ред. Айзенберга Ю.Б. и Бооса Г.В., 2019
- 10. АНГЛО-РУССКИЙ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ. Рос.национальный комитет МКО, 2011

ЗРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА – БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИЁМНИК

(«тонкий» и совершенный приёмник излучения, гибко реагирующий на изменение внешних условий)

АСПЕКТЫ РАСМОТРЕНИЯ:

- **СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ (структура)**
- **ОПТИЧЕСКИЙ (геометрическая и физическая оптика)**
- **СВЕТОВОСПРИНИМАЮЩИЙ (светотехника)**
- **КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ (кибернетика)**

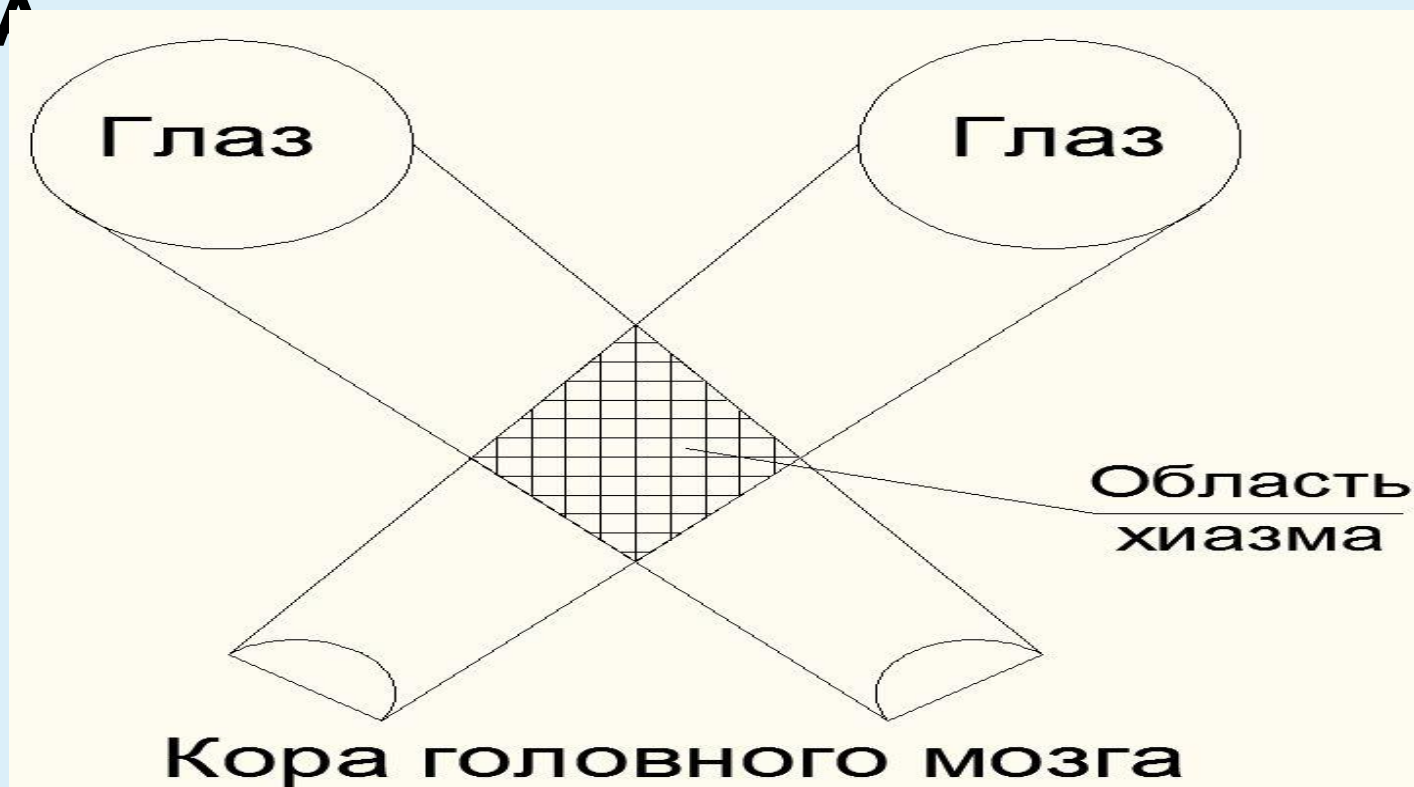
ЗРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА:

- СОСТОИТ ИЗ 2-Х ГЛАЗ, ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЦЕПИ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН, ЦЕНТРАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА (наружные и внутренние коленчатые тела, подушки зрительного бугра – промежуточные зрительные центры).
- 2 глаза и для надёжности и для восстановления с помощью мозга 3-х мерного пространства.
- ПРАКТ. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ОСИ ГЛАЗ (углы обзора по гор. - 150 градусов.. и по верт. - 125 градусов).
- СОТНИ МИЛЛИОНОВ РЕЦЕПТОРОВ (в жёлтом ⁷

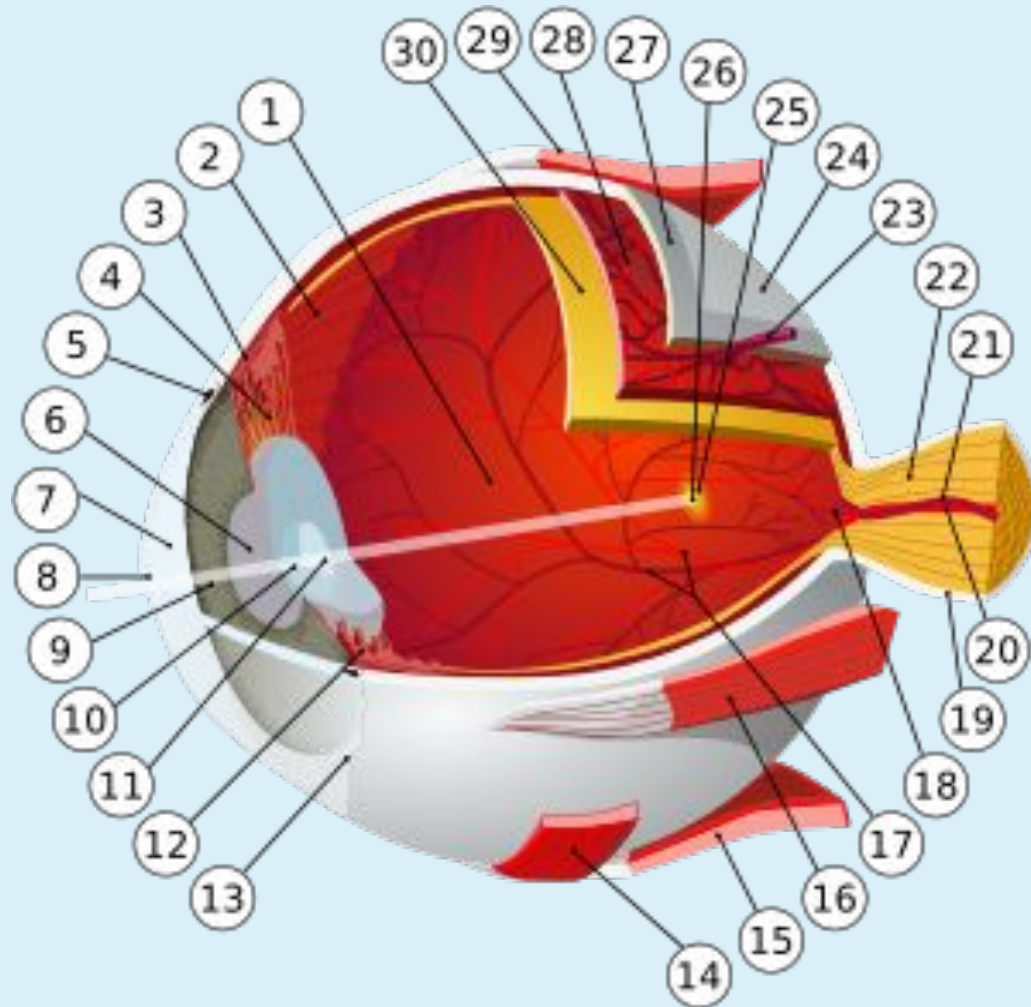
ЗРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА (продолжение):

■ ЕСТЬ ХИАЗМА

(область
перекрытия
зрительных
нервов
2-х глаз).

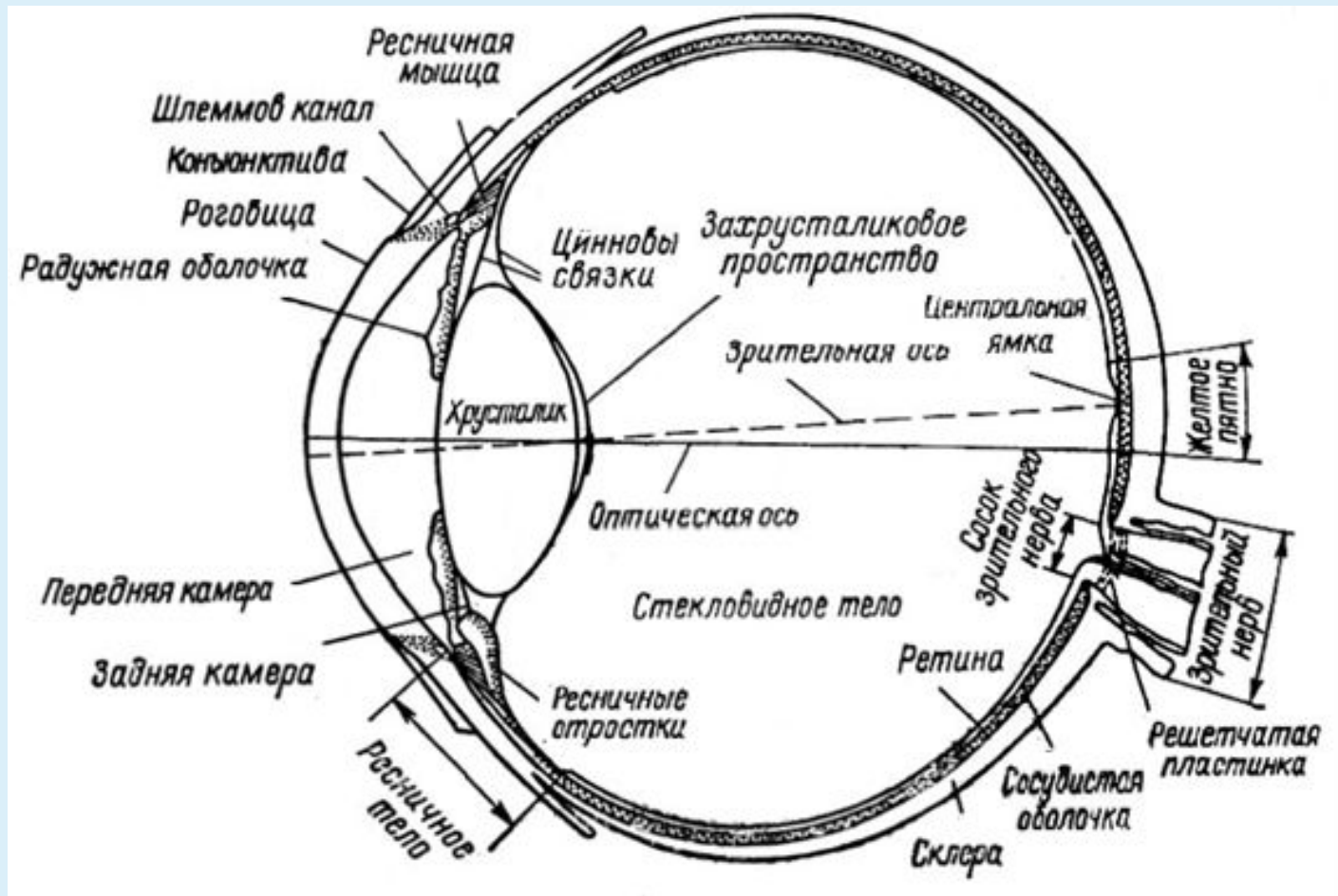


Внутреннее физиологическое схематичное строение глаза



1- задняя камера, 2 – зубчатый край, 3 – ресничная аккомодационная мышца, 4 – ресничный (цилиндрический) поясок, 5 – шлеммов канал, 6 – зрачок, 7 – передняя камера, 8 – роговица, 9 – радужная оболочка, 10 – кора хрусталика, 11 – ядро хрусталика, 12 – цилиарный отросток, 13 – конъюнктивa, 14 – нижняя косая мышца, 15 – нижняя прямая мышца, 16 – медиальная прямая мышца, 17 – артерии и вены, 18 – слепое пятно, 19 – твердая мозговая оболочка, 20 – центральная артерия сетчатки, 21 – центральная вена сетчатки, 22 – зрительный нерв, 23 – варикозная вена, 24 – влагалище глазного яблока, 25 – желтое пятно, 26 – центральная ямка, 27 – склера, 28 – сосудистая

Схематичное изображение строения глаза человека



Оболочки: склеротическая, 1мм (с роговицей - 0,5мм; $n=1,39$), сосудистая, 0,3 мм (с радужкой и зрачком) и сетчатая (ретина с жёлтым пятном и центральной ямкой). Передняя и задняя камеры ($n=1,35$).

Хрусталик (двояковыпуклая линза, радиус кривизны и показатель преломления изменяются в зависимости от расстояний до объекта); на периферии: $n=1,39$; в центре: $n=1,41$).

Стекловидное тело, обеспечивающее постоянное расстояние от хрусталика до сетчатки ($n=1,35$).

ХРУСТАЛИК, ЗРАЧОК,

СЕТЧАТКА — действительное, перевёрнутое, качественное (без абerrационное) изображение на сетчатке;

- при изменении расстояния наблюдения радиус кривизны хрусталика меняется, из-за изменения величины заднего фокуса (расстояние от хрусталика до сетчатки будет постоянным в течение жизни благодаря упругому стекловидному телу);
- хрусталик – короткофокусный объектив (23,8 мм на дальнем расстоянии наблюдения и на 20 % меньше при мин. расстоянии – 10 см. из-за аккомодации);
- оптическая система фотоаппарата или видеокамеры напоминает оптическую схему глаза, но фокусное расстояние изменяется благодаря перемещению компонента/ов объектива, а не изменению выпуклости хрусталика;
- диаметр глаза 30 мм, диаметр зрачка изменяется от 2 (1,5) мм при большом падающем потоке для защиты глаза до 8 мм в темноте;
- в жёлтом пятне (1 мм x 0,8 мм) есть углубление – фовеа (в 2,5 раза меньше пятна), а в его центре: фовеола (ещё в 4 раза меньше фовеа);

■ вокруг центра глаз вращается на не более, чем на 50 град. с

Три аппарата глаза

```
graph TD; A[Три аппарата глаза] --- B[Рефракционный  
(преломление; для  
качественного  
изображения)]; A --- C[Аккомодационный  
(приспособление к  
изменению  
условий)]; A --- D[Сенсорный  
(приёмники)];
```

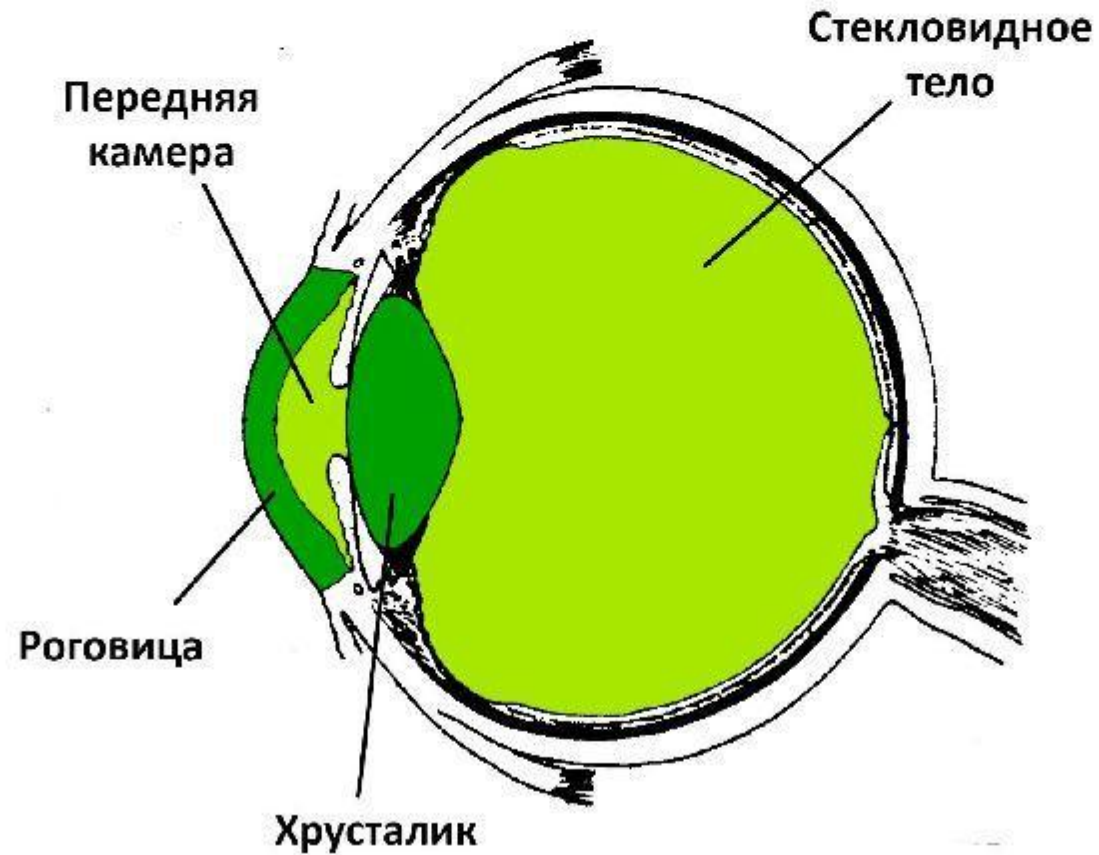
Рефракционный
(преломление; для
качественного
изображения)

Аккомодационный
(приспособление к
изменению
условий)

Сенсорный
(приёмники)

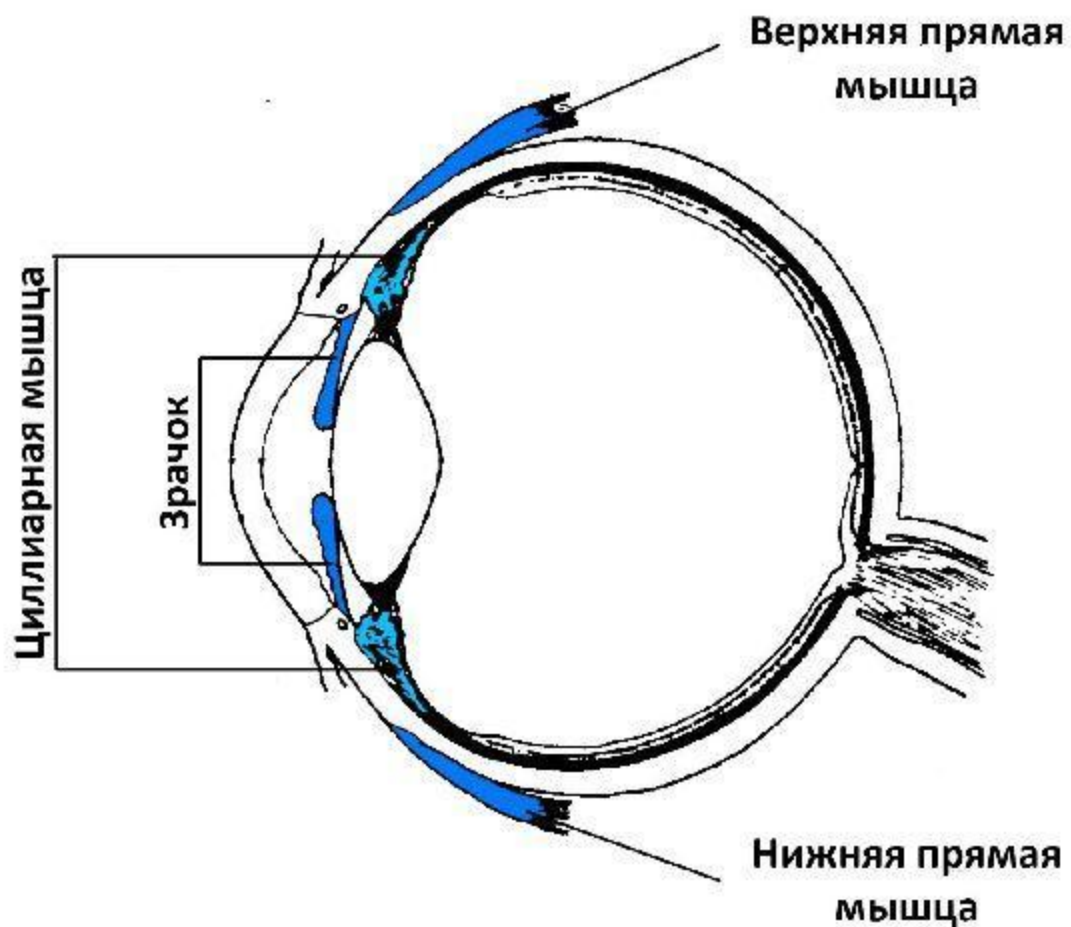
СВЕТОПРЕЛОМЛЯЮЩИЙ АППАРАТ

система линз, для четкости изображения



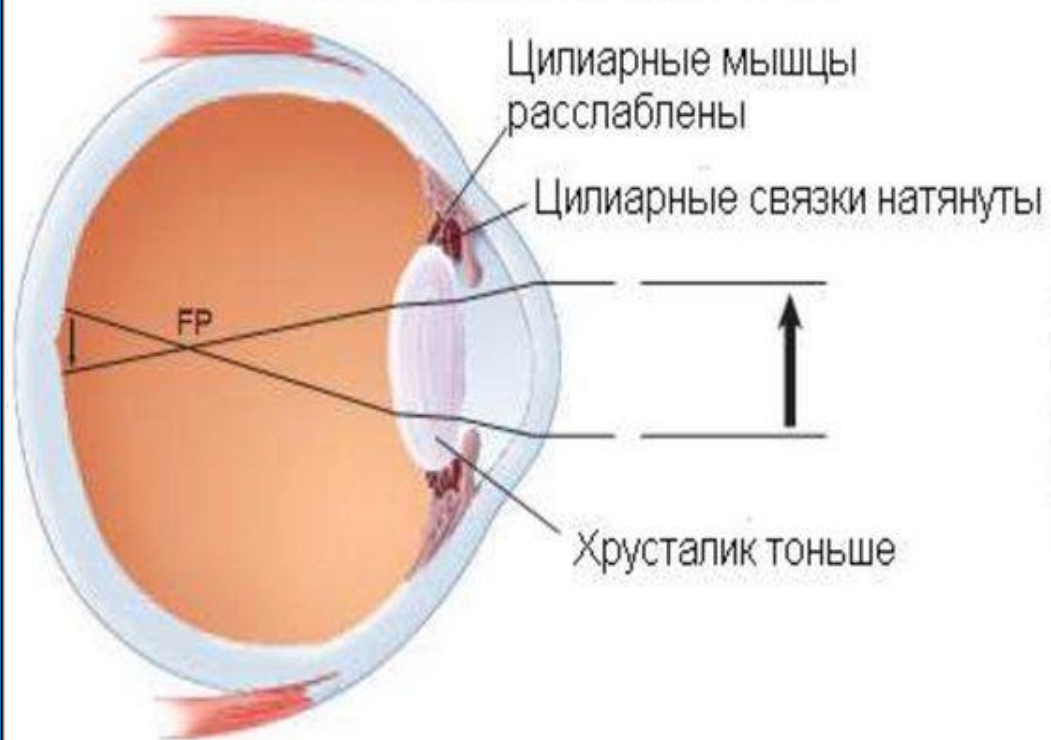
АККОМОДАЦИОННЫЙ АППАРАТ

приспосабливает глаз к различным условиям

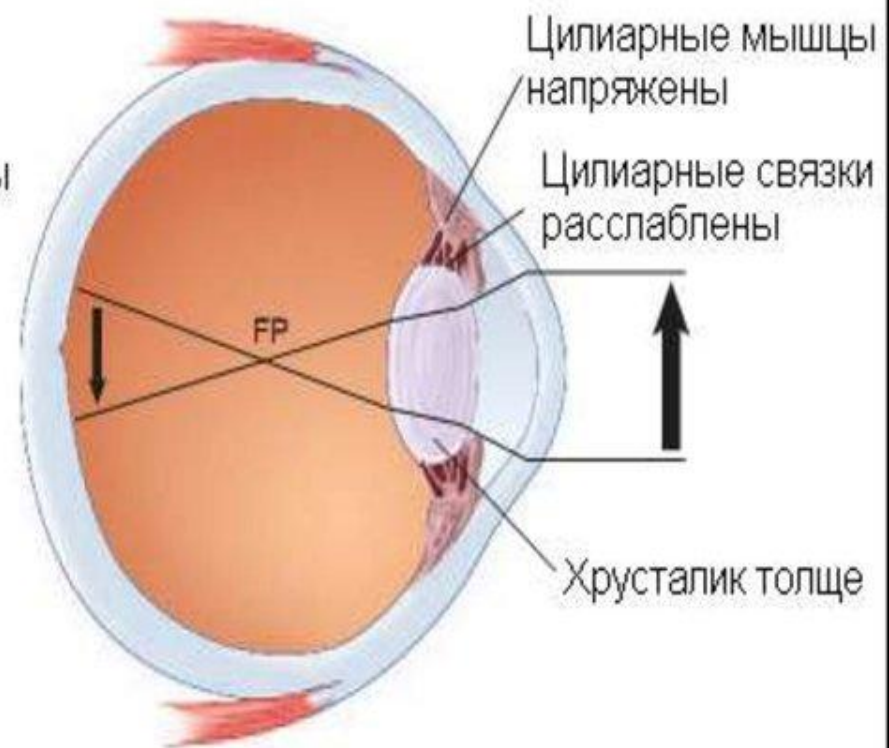


Процесс аккомодации глаза

Установка для дальней точки



Установка для ближней точки



Как реагирует зрачок на свет



↑
Нормальная
величина зрачка



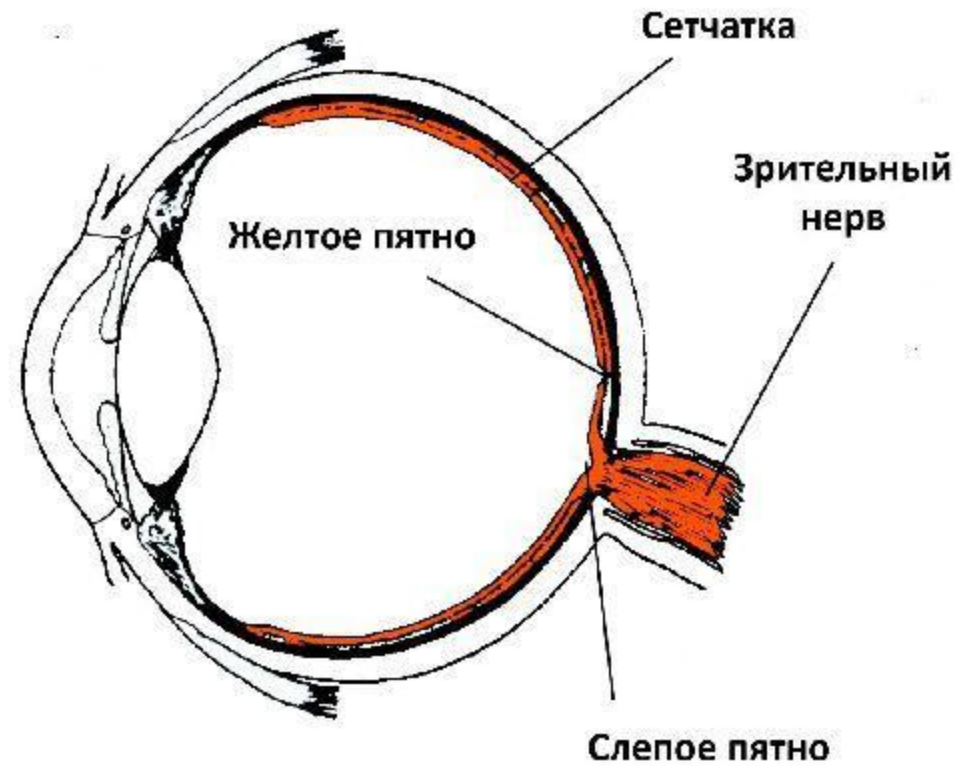
↑
В полумраке
зрачок
расширяется,
чтобы впустить
больше света



↑
При сильном свете
зрачок
суживается, чтобы
предохранить
сетчатку от
повреждения

РЕЦЕПТОРНЫЙ АППАРАТ

палочки и колбочки – преобразуют свет в электрические сигналы



РЕДУЦИРОВАННЫЙ ГЛАЗ ПО В.К. ВЕРБИЦКОМУ

ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ

Физиологическая оптика и колориметрия

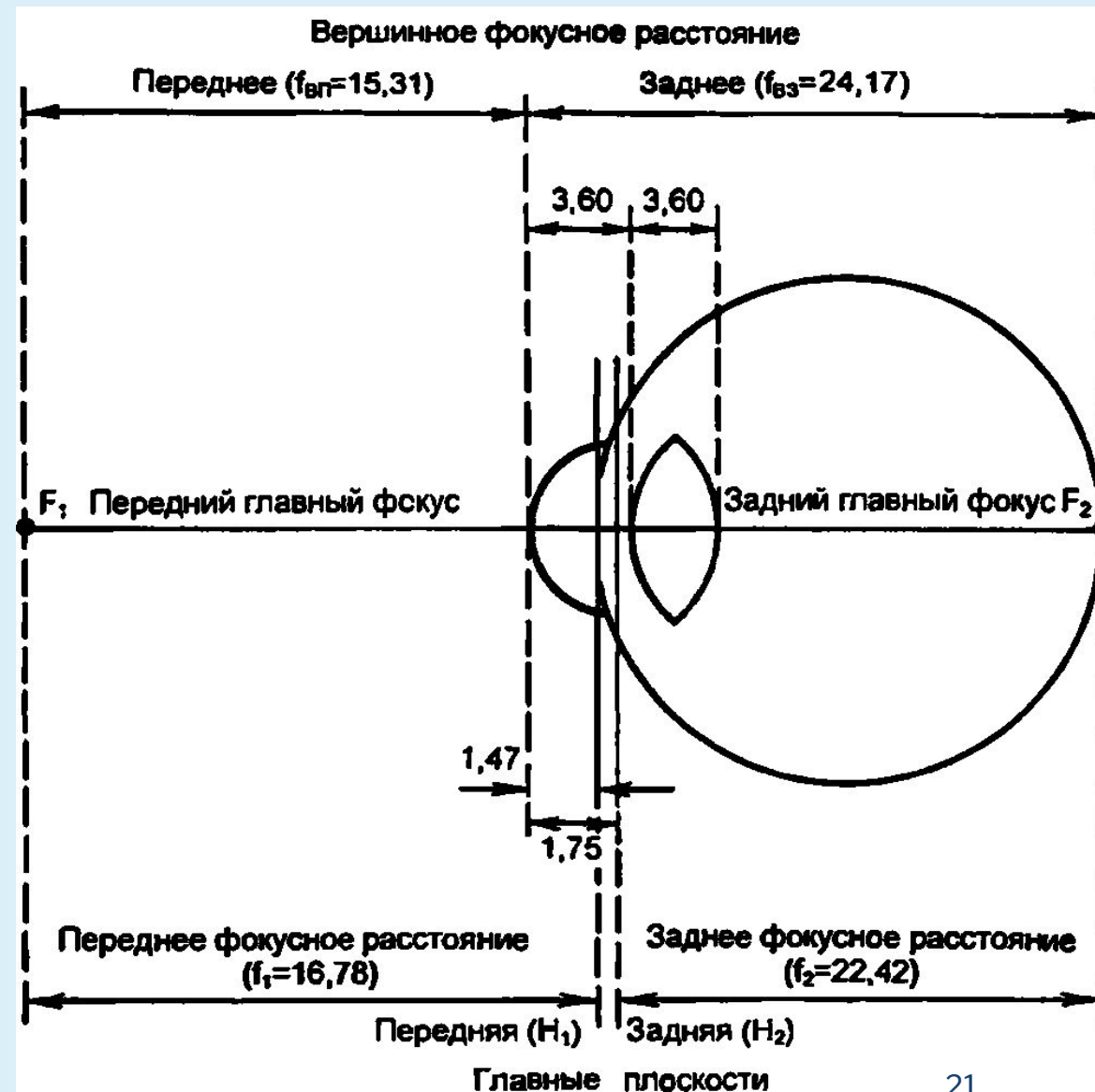
Зрительная система

Децентрированная

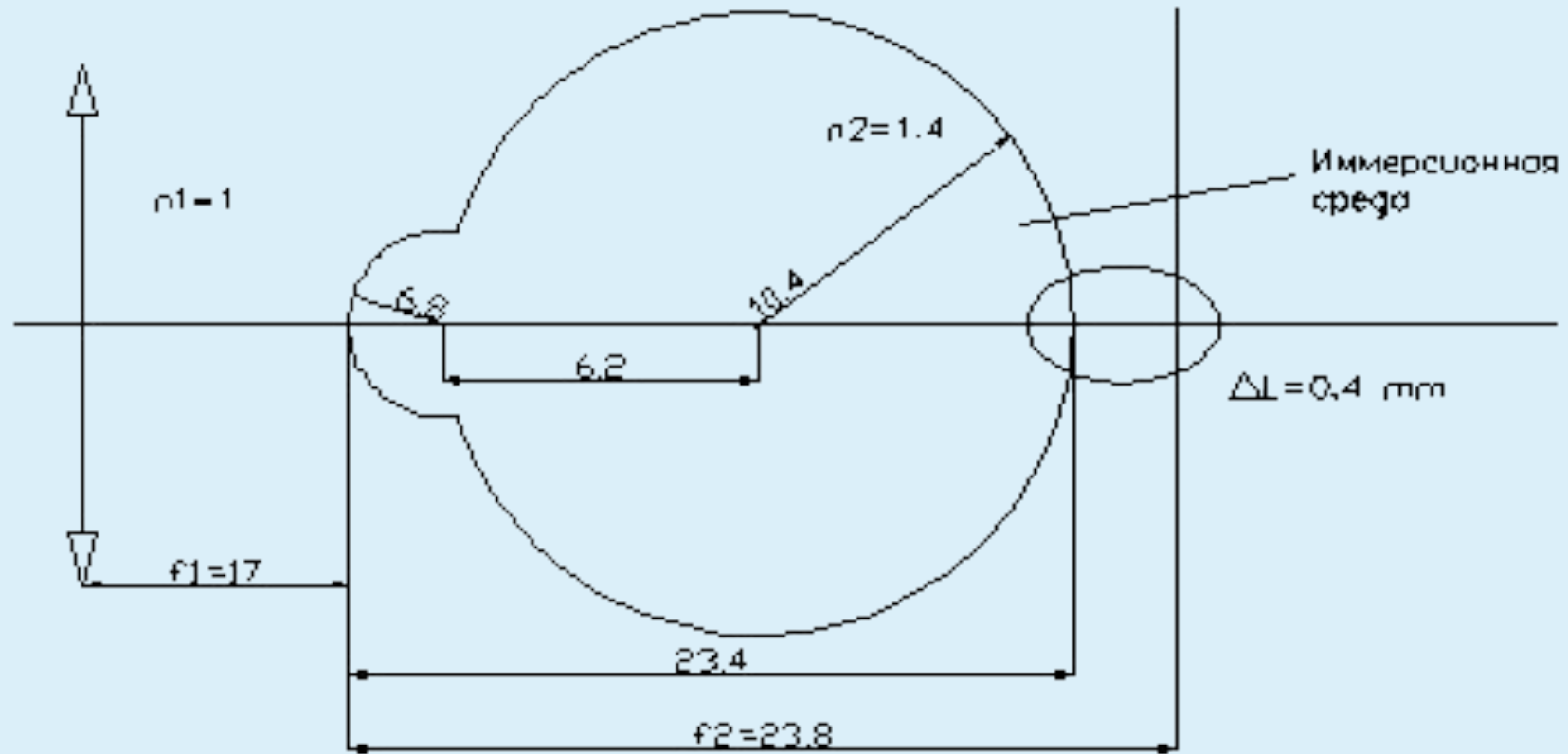
Иммерсионная

Исследования позволили определить: средние цифры размеров оптических элементов, фокусных расстояний и показателей преломления, а также сделать обоснованные **ВЫВОДЫ**

Схематический глаз по Альвару Гупьстранду



Редуцированный глаз Вячеслава Константиновича Вербичского



СРАВНЕНИЕ РЯДА МОДЕЛЕЙ

Элементы оптического аппарата	Схематическ ий глаз Гульстранда	Редуцированный глаз			
		по Листинг у	по Дондерсу	по Гульстранду	по Вербиц кому
Преломляющая сила в диоптриях	58,64	65,93	66,67	58,48	58,82
Длина глаза в мм	24,0	19,6	19,3	22,2	23,4
Показатель преломления	1,34	1,33	1,33	1,33	1,4
Радиус кривизны в мм:					
роговицы	7,7	5,1	5,0	5,7	6,8
поверхности сетчатки	10,5	8,6	8,4	5,7	10,2

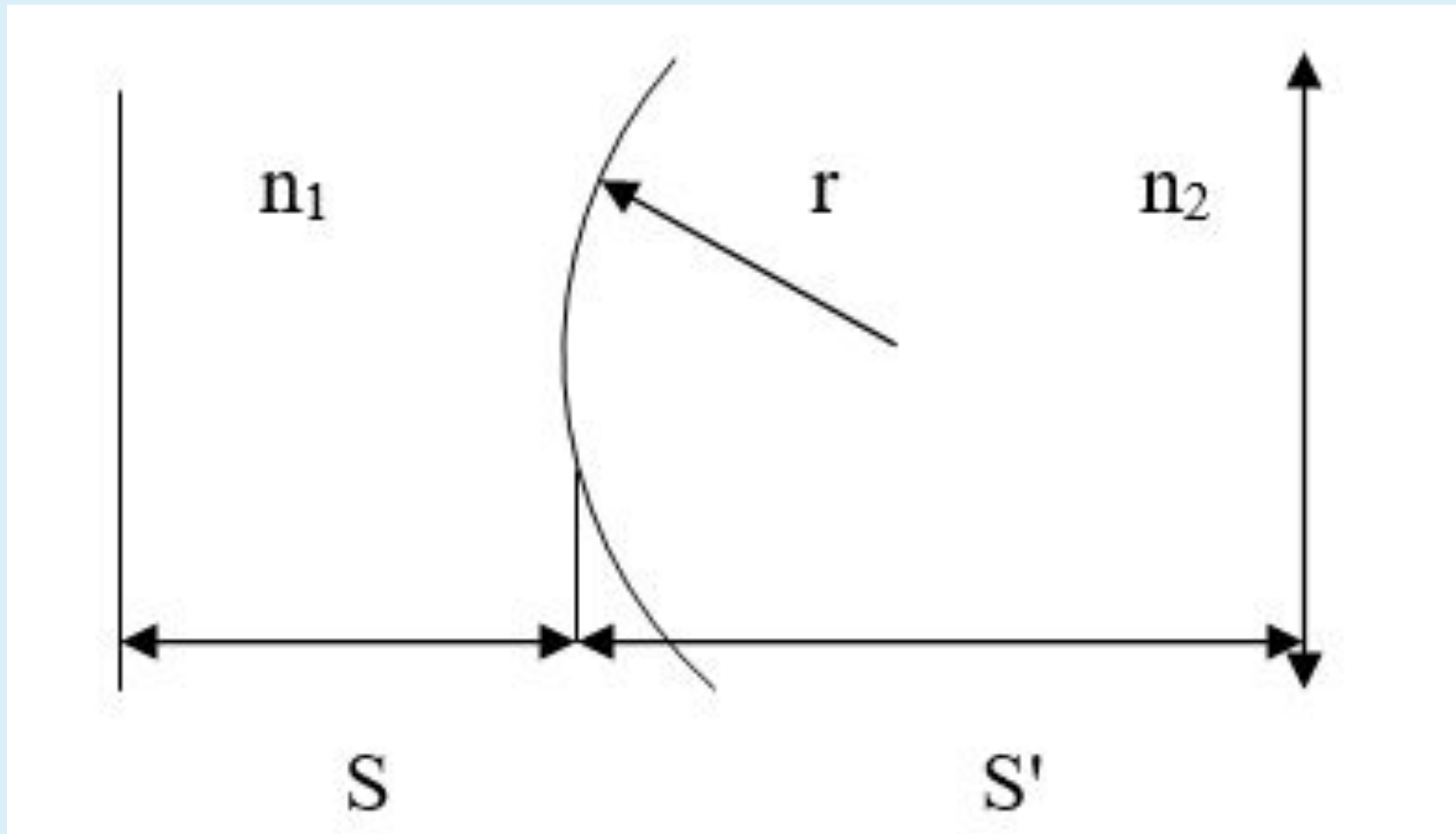
Редуцированный глаз по В.К.

Вербицкому преломляющая сила (рефракция) $F=(n_2 - n_1)/r$
или $F= n_2 / f_2$ см. слайды 26 и 25

- F (макс. акк.) = 70,58 дптр из-за уменьшения f_2 на 20%
 F (в покое) = 58,82 дптр
- В модели Вербицкого достаточно формально принято считать, что увеличение F на 1 дптр (приближение объекта) вызвано уменьшением r на 0,04 мм и увеличением n_2 на 0,004
- Андрей Владимирович Луизов ещё более формально предложил при увеличении оптической силы в редуцированном глазе на 1 дптр уменьшать r на более удобные 0,1 мм, а показатель преломления сохранять постоянным 1,4 мм

При этом расчётное Δl отличается от экспериментально установленного не больше, чем на 0,1 мм – погрешность стала в три раза меньше (по Вербицкому расчётное²⁴ Δl

Инвариант Аббе



Инвариант Аббе

$$n_1 \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{r} \right) = n_2 \left(\frac{1}{S'} - \frac{1}{r} \right), \text{ если } S = \infty \text{ то } S' = f_2 \quad n_1 = 1$$

$$f_2 = n_2 r / (n_2 - n_1)$$

$$f_1 (S = f_1, S' = \infty)$$

$$f_1 = - n_1 r / (n_2 - n_1)$$

$$f_1 = - f_2 n_1 / n_2$$

Выражение для оптической силы:

$$F = (n_2 - n_1) / r$$

**Объём
аккомодации:**

$$D = 1/l_0 - 1/l_d$$

Объем аккомодации D связывает ближнее и дальнее расстояние качественного изображения

$$D_{\text{бд}} = \frac{1}{l_{\text{б}}} - \frac{1}{l_{\text{д}}}$$

Зависит от возраста

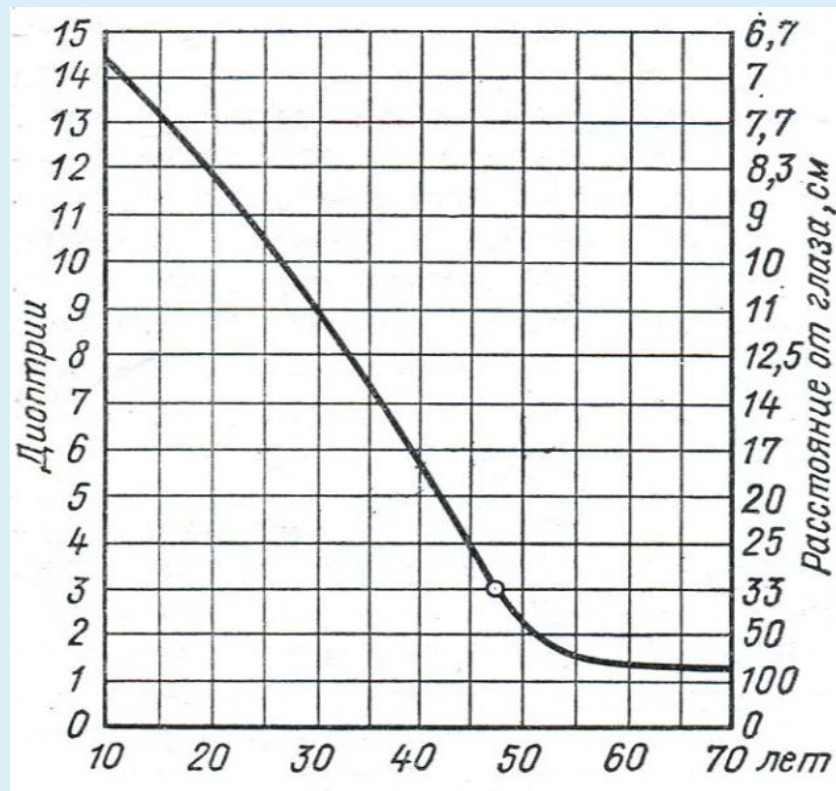
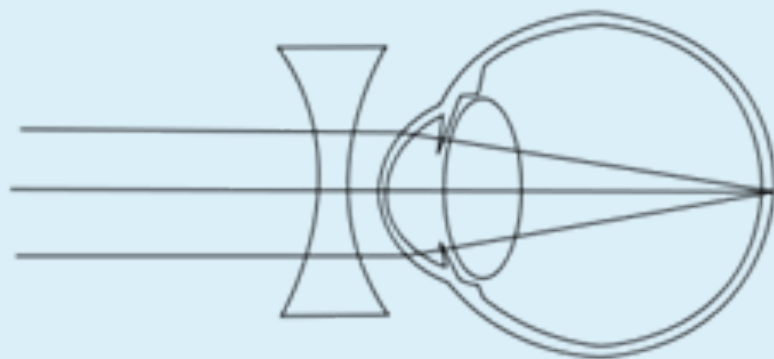
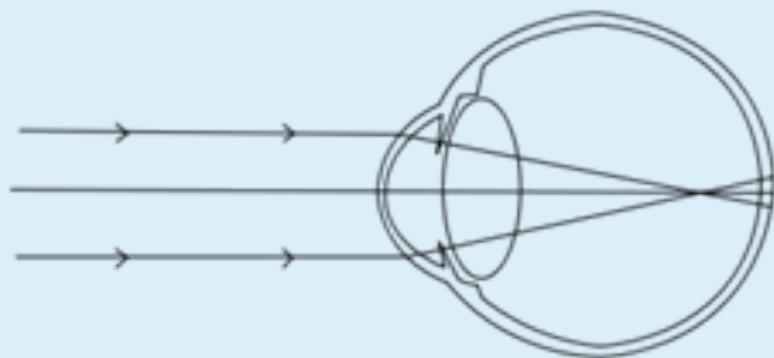
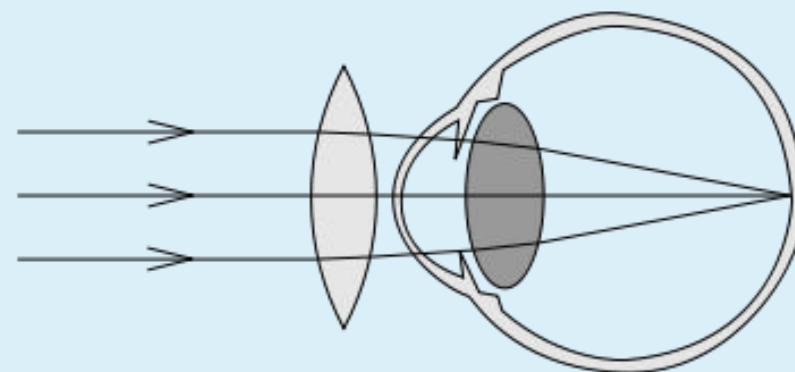
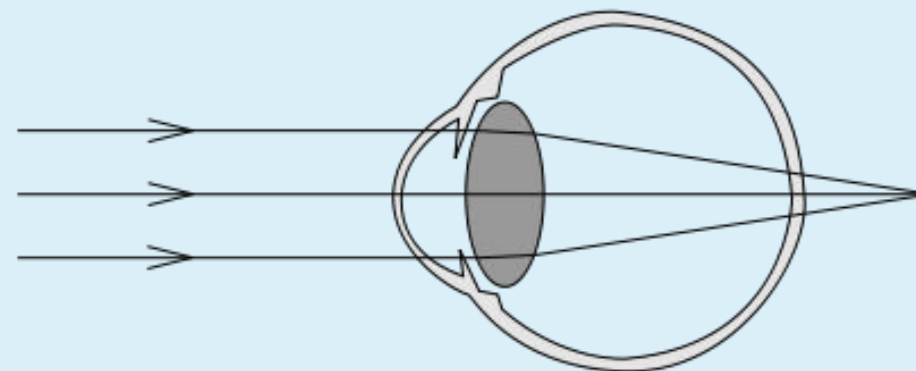


График зависимости объема аккомодации от возраста

Аномальный глаз



**Схема для исправления
миопии
(разведение лучей)**



**Схема для исправления
гиперметропии
(сведение лучей)**

Движения глаз



Содружественные движения по горизонтали вправо

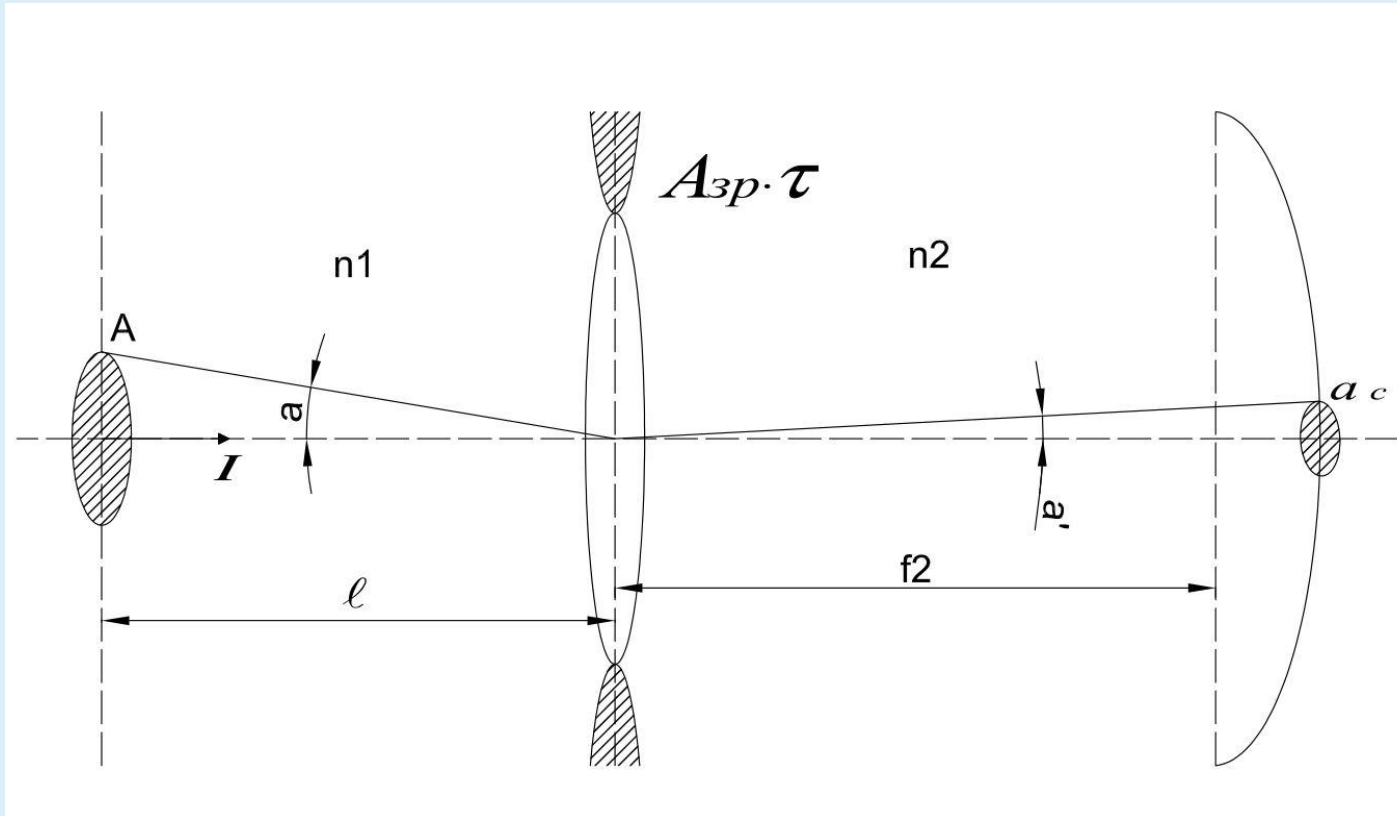


Конвергенция
(при рассматривании близко
расположенного объекта)



Содружественные движения вертикально вверх

Освещенность на сетчатке



Освещённость на сетчатке E_c можно записать через световой поток, прошедший через зрачок:

$$E_c = \frac{\Phi_{зр} \cdot \tau}{a_c} = \frac{E_{зр} \cdot A_{зр} \cdot \tau}{a_c}$$

$\Phi_{зр}$ – световой поток, упавший на зрачок,

τ – коэффициент пропускания глазных сред (часто принимают $\tau_r = 0,56$),

a_c – площадь изображения на сетчатке

Для определения освещенности на сетчатке не используют модель Вербицкого из-за её сложности !

Вывод

Проведя преобразования формулы, мы можем записать:

$$E_c = I A_{зр} \tau / (a_c l^2) \quad (1)$$

Теперь применим формулу синусов, а затем возведём правую и левую часть в квадрат, перейдём для малых углов a , a' к тангенсам:

$$n_1 \cdot \sin a = n_2 \cdot \sin a'$$

$$n_1^2 \cdot \operatorname{tg}^2 a \approx n_2^2 \cdot \operatorname{tg}^2 a'$$

$$n_1^2 \cdot \frac{A}{l^2} \approx n_2^2 \cdot \frac{a_c}{f_2^2}$$

- формула синусов через площади (2)

$$l^2 \cdot a_c = \frac{n_1^2}{n_2^2} \cdot A \cdot f_2^2$$

Вывод формулы:

$$\frac{f_1}{n_1} = \frac{f_2}{n_2} \Rightarrow f_2 = f_1 \frac{n_2}{n_1}$$

- преобразования из формулы Аббе (3)

Далее, подставляя (3) \rightarrow (2) \rightarrow (1)

$$, \text{ получаем: } E_c = I A_{зр} \tau / (f_1^2 A) = A_{зр} \tau L / f_1^2 \quad (4)$$

Диаметр зрачка по Крауфорду: $d_{зр} = 5 - 3 \text{ th}(0,4 \lg L)$

Подставляя в формулу (4) выражение для площади зрачка, получаем:

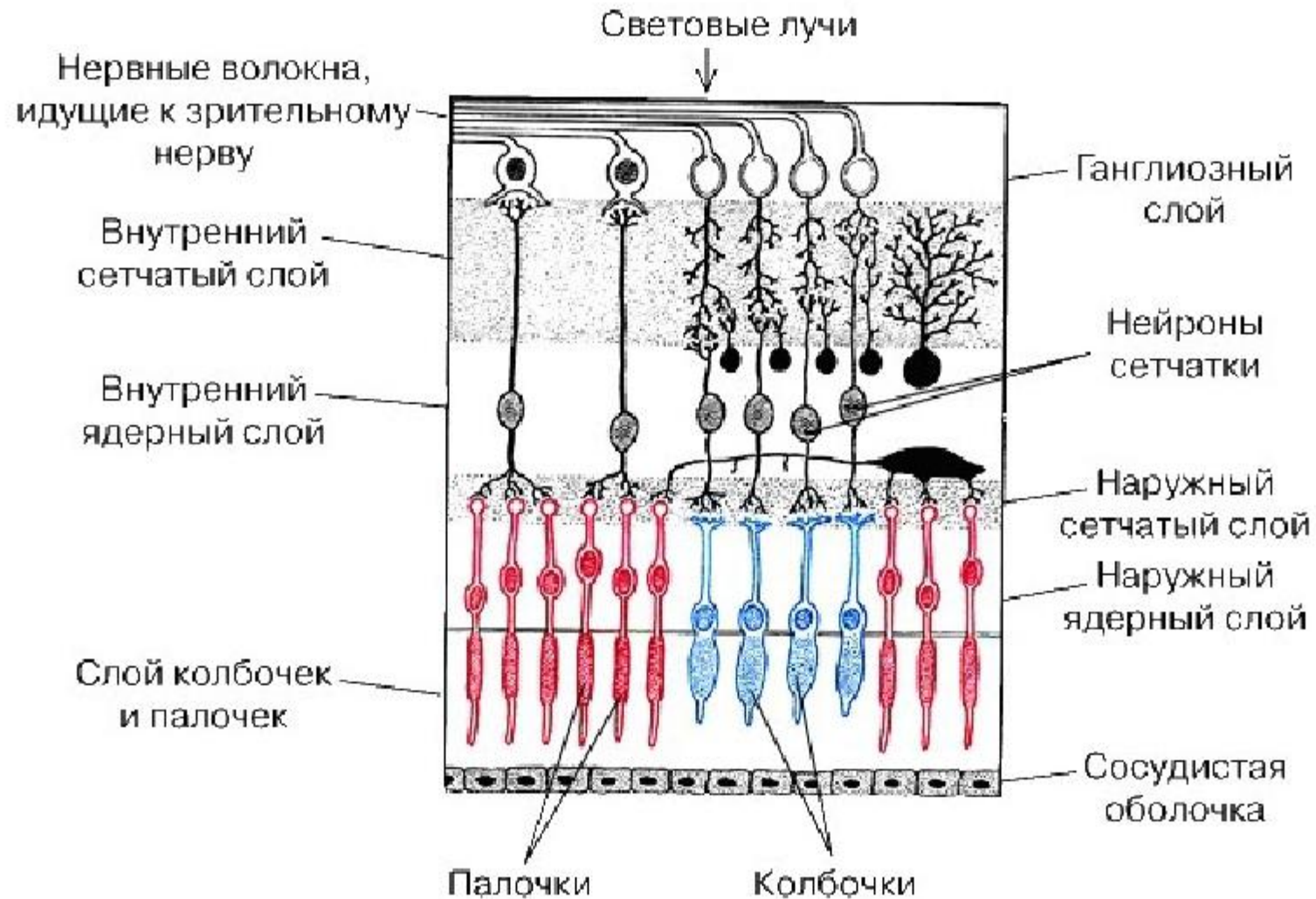
$$E_c = \frac{L \cdot \tau}{f_1^2} \cdot [5 - 3 \text{ th}(0,4 \cdot \lg L)]^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

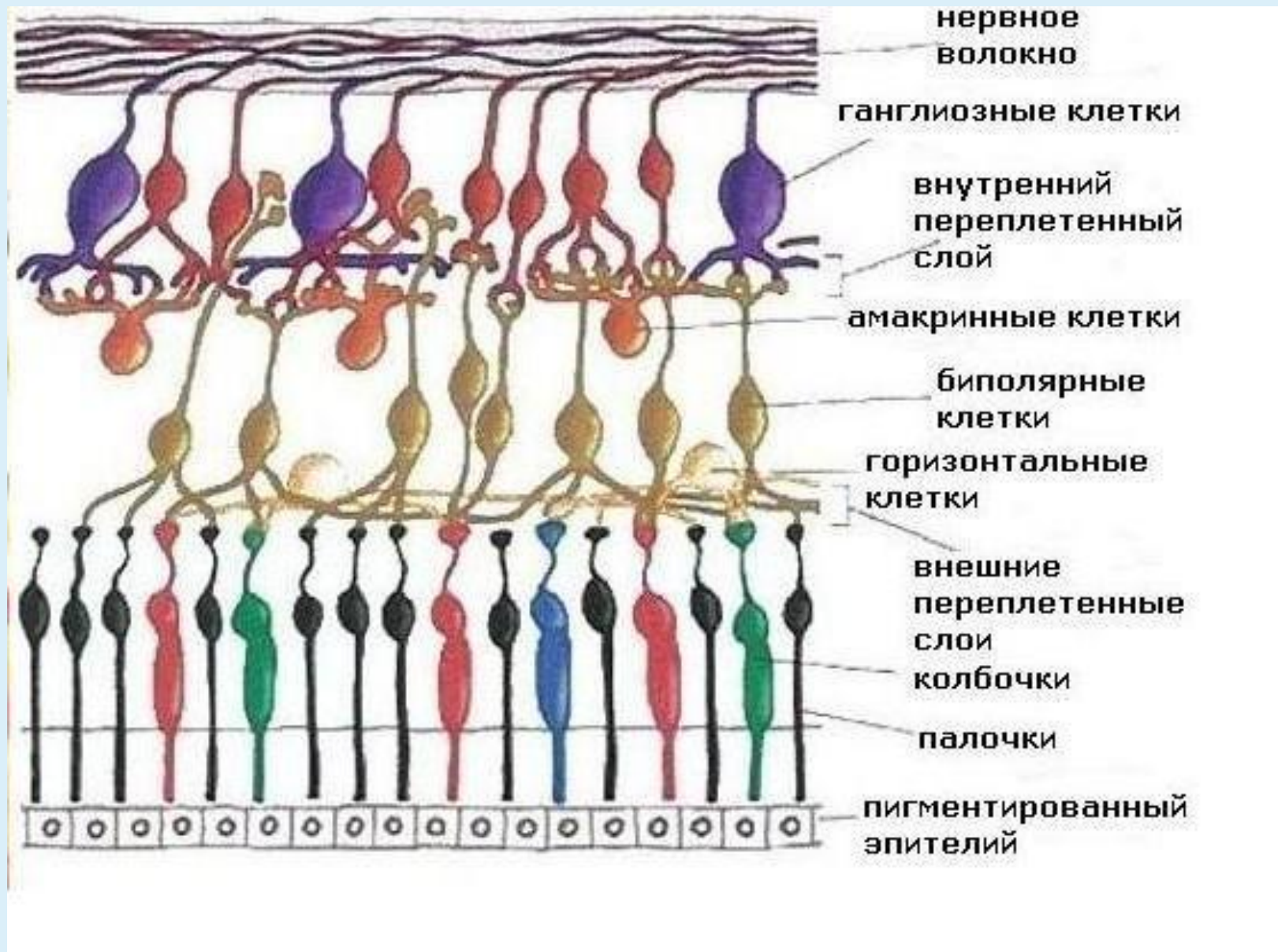
- **Выражение (5) очень важное для светотехники, т.к. освещённость сетчатки, а значит реакция приемников дневного зрения (в виде импульсов тока действия), нелинейным образом связана с яркостью объекта.**

Для решения отдельных задач используют понятие «освещённость сетчатки в Троландах [Тр]». Один Троланд соответствует освещённости сетчатки при яркости объекта $L=1$ кд/м² и площади зрачка $A_{зр}=1$ мм². Тогда 1 [Тр] по формуле (4) равен $\tau_r/f_1^{2,зр}$, а выражение (5) можно записать как:

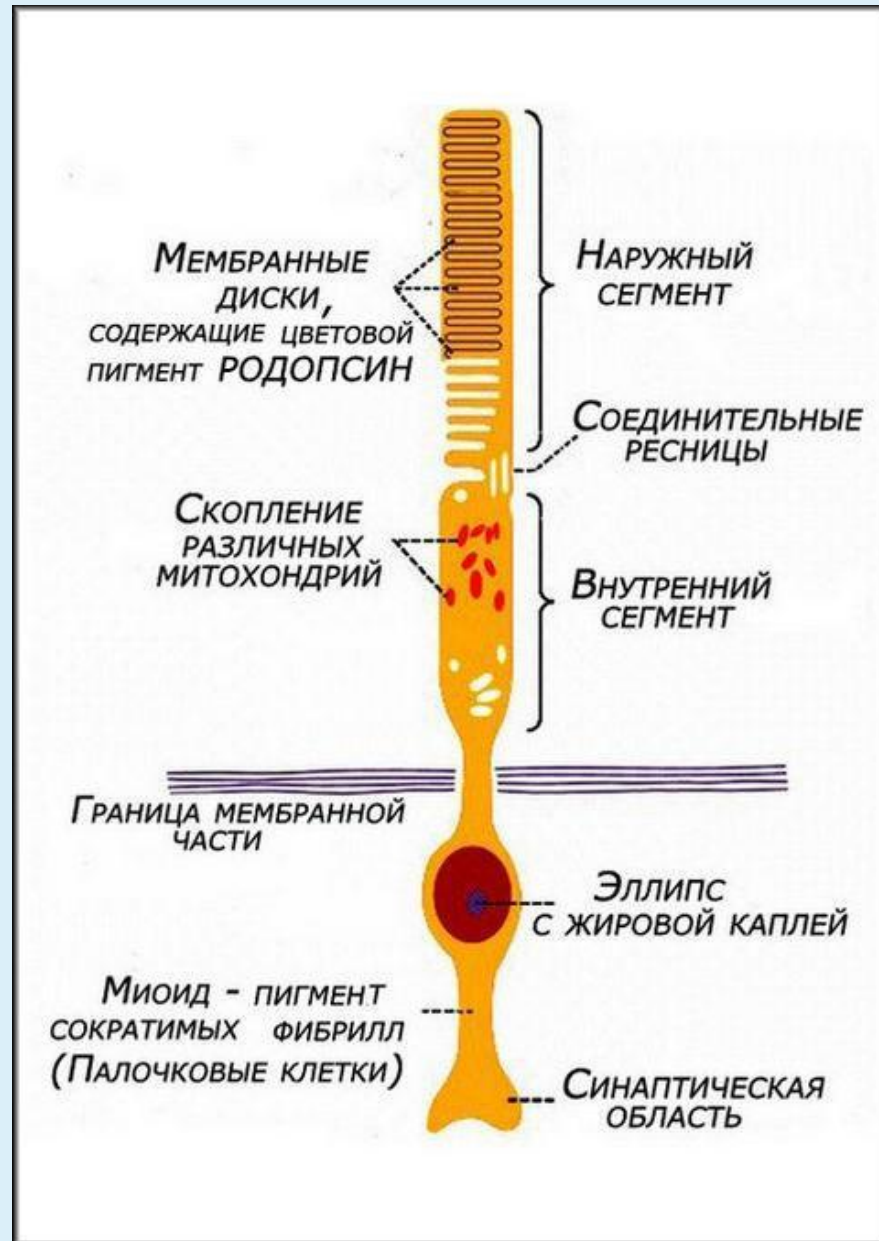
$$E_c = L \cdot [5 - 3\text{th}(0,4 \cdot \lg L)]^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad [\text{Тр}]$$

Строение сетчатки





Палочки



Палочки имеют удлинненную форму, цвет не различают, но существенно чувствительнее колбочек к свету.

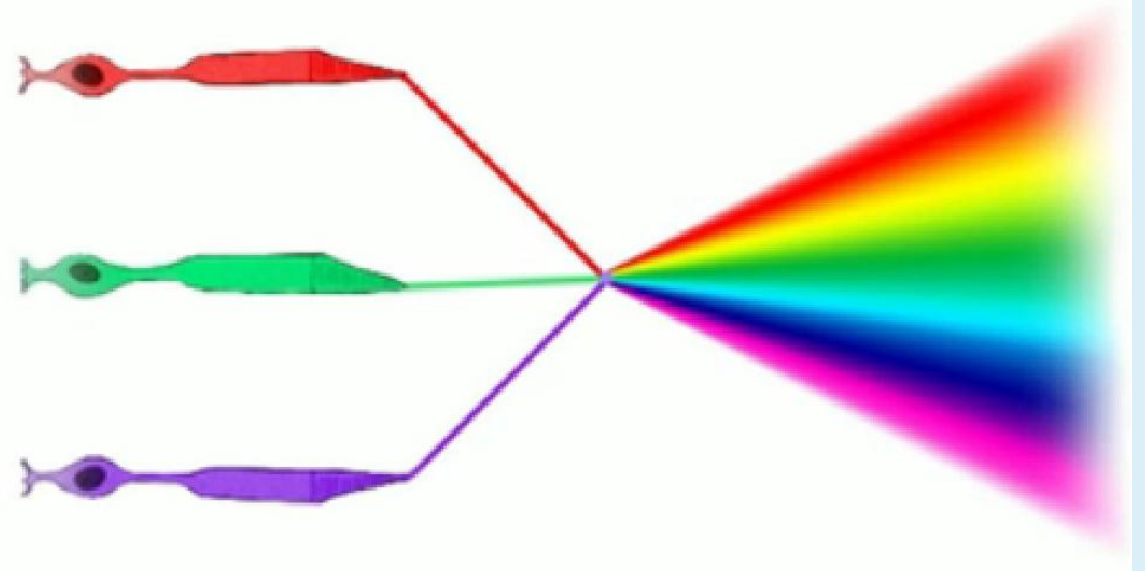
Колбочки



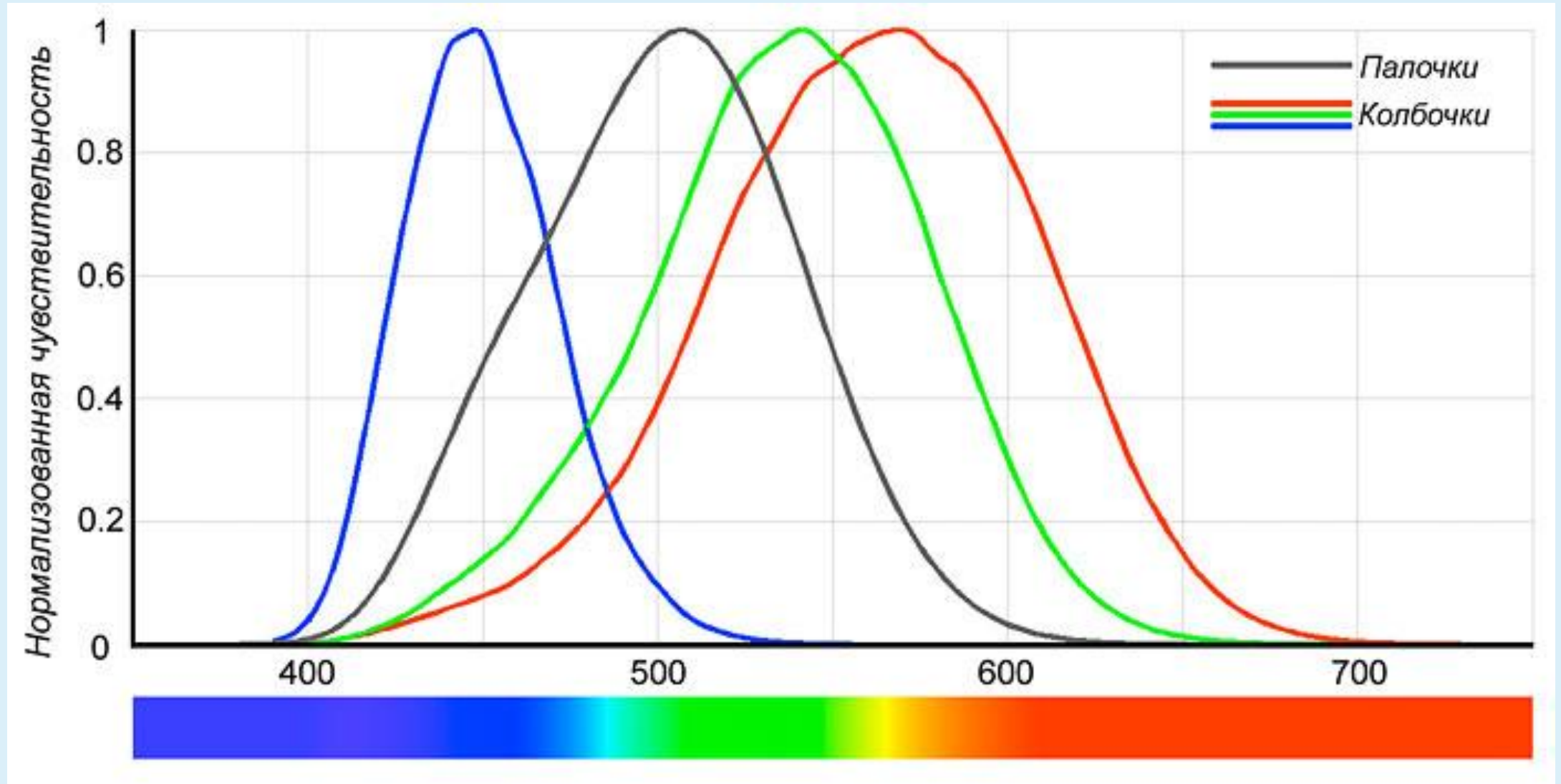
Колбочка

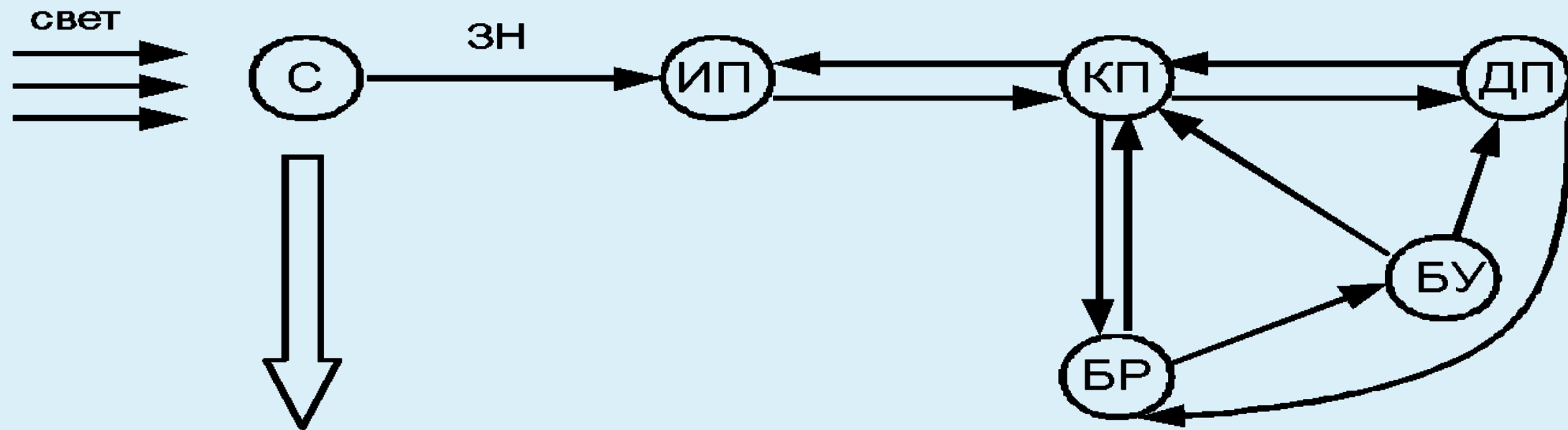
Колбочки обеспечивают восприятие формы и цвета предмета.

Три вида колбочек в сетчатке



Спектральные чувствительности





С — сетчатка
 ЗН — зрительный нерв
 ИП — иконическая память
 КП — кратковременная память

ДП — долговременная память
 БР — блок распознавания
 БУ — блок управления

Модель зрительного восприятия(по Аткинсу - Шифрину)

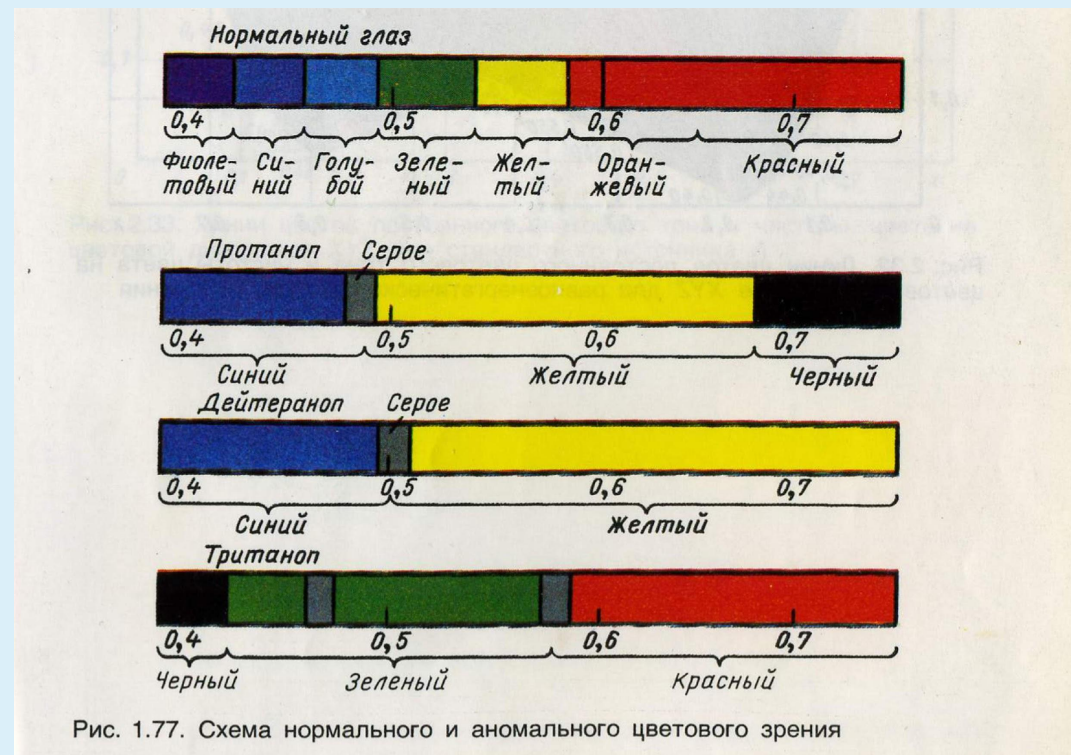
Свет, переработанный сетчаткой глаза, поступает в виде сенсорной (чувственной) информации в блок иконической памяти в виде ощущения (икона - образ). Комбинация сигналов, еще не обработанная мозгом, может запомниться в КП – блоке кратковременной памяти, где хранится не самая важная информация, которая скоро будет не нужна. Распознавание объекта, отображенного на сетчатке, осуществляется на основании работы блока БР при сравнении информации, получаемой из ИП, с признаками, хранящимися в КП и ДП.

БУ «руководит» деятельностью КП, ДП, БР. В конце концов, именно блок БР принимает решение и делает вывод, какой именно образ зафиксирован глазом. Т.к. в образе, который человек внутренне изучает, воспроизведены некоторые характерные признаки изображаемого объекта, так что понятен смысл, то человек способен по этим признакам восстановить целиком образ, опираясь на КП и ДП, т.к. там хранятся черты, признаки уже встречавшихся образов и сами образы.

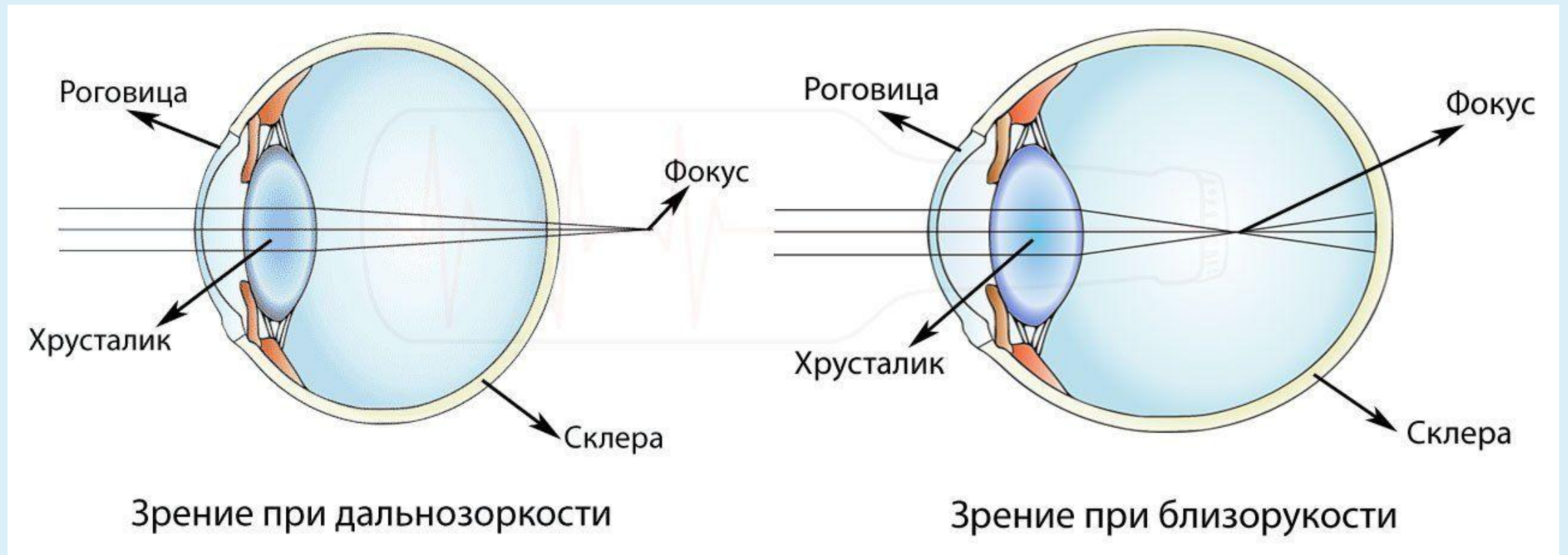
Нарушения цветовосприятия



ЦВЕТОАНОМАЛЫ

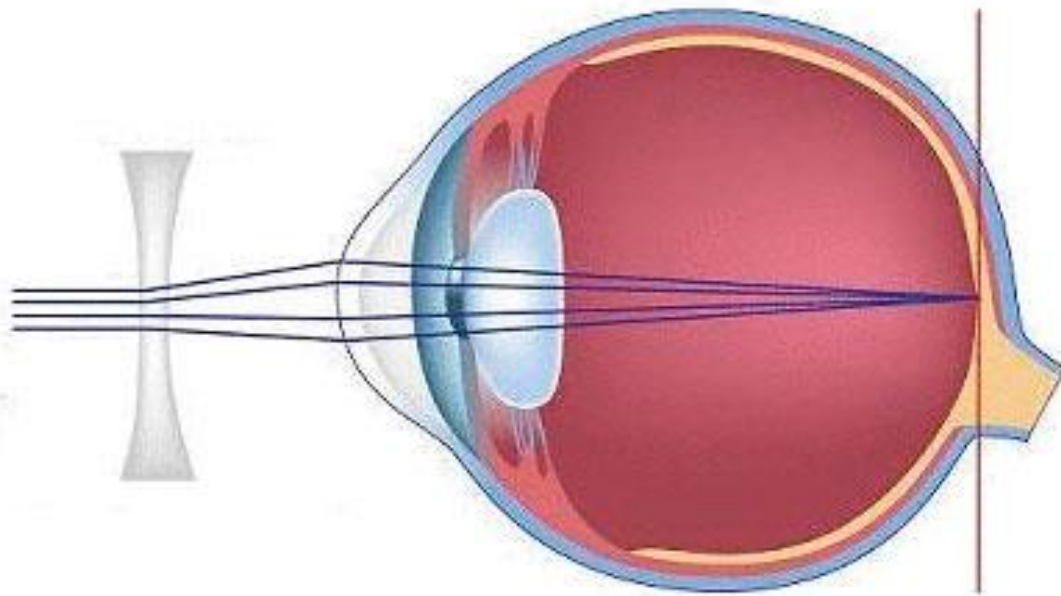


Нарушение аккомодационной способности хрусталика

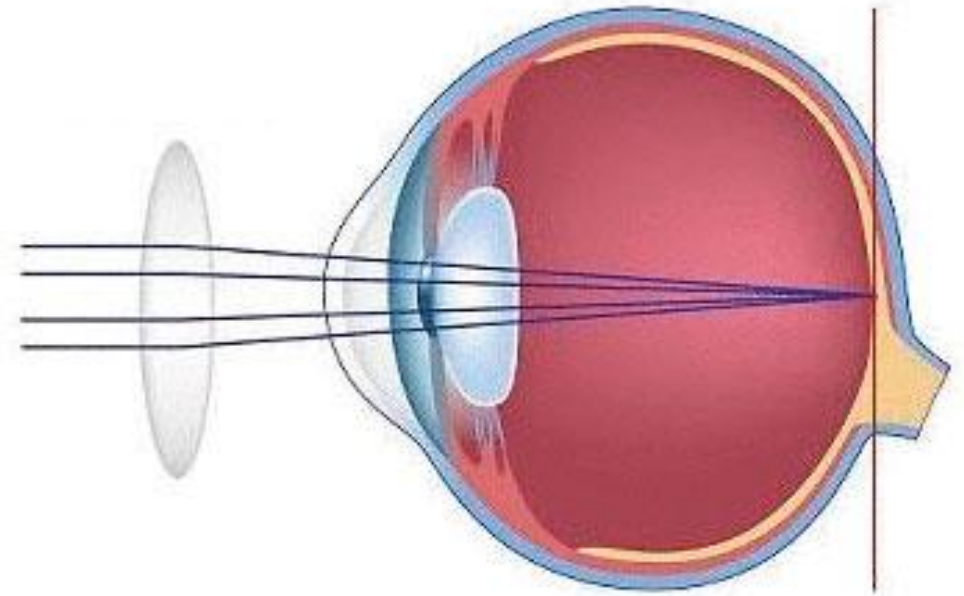


Коррекция нарушения аккомодационной способности хрусталика

Близорукость



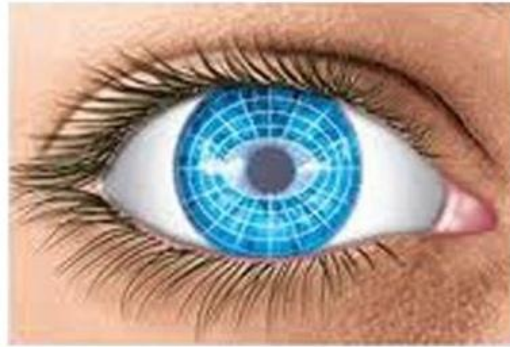
Дальнозоркость



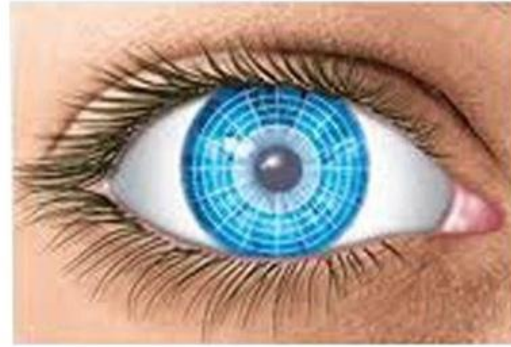
Нарушение аккомодационной способности хрусталика.

Астигматизм

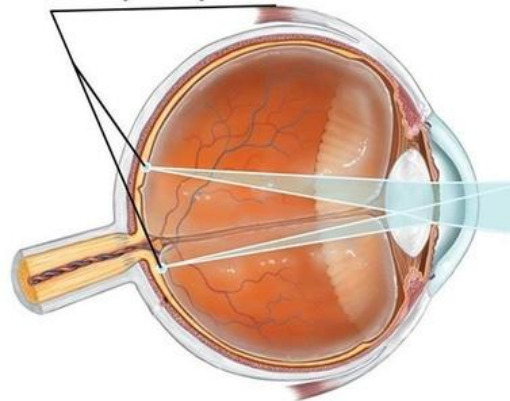
Астигматизм



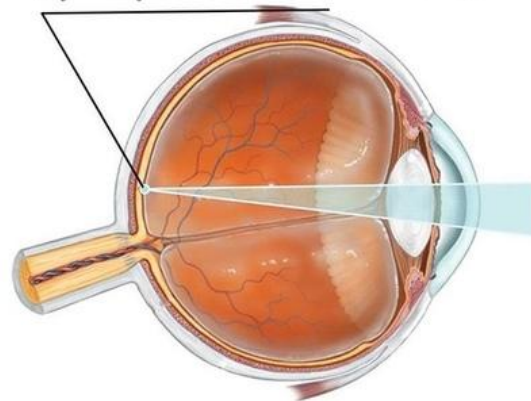
Здоровый глаз



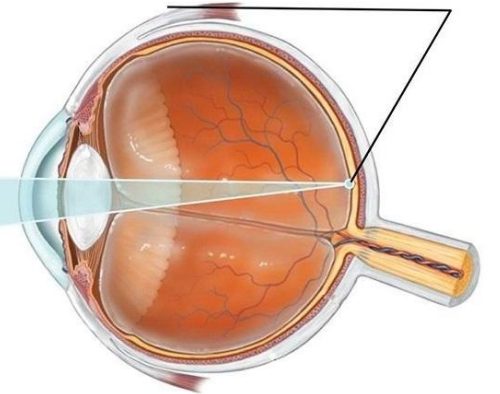
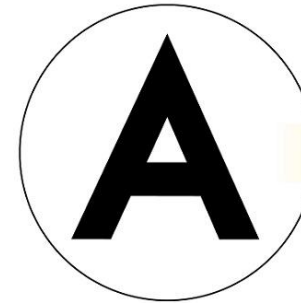
Астигматизм
(2 фокуса)



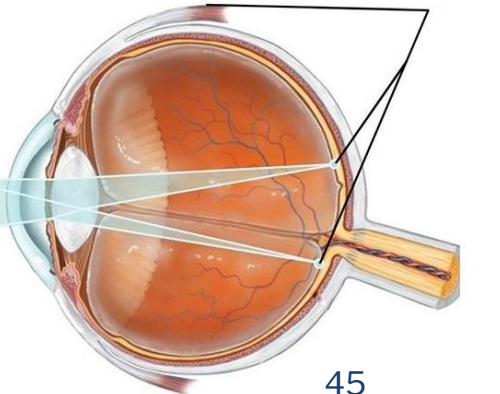
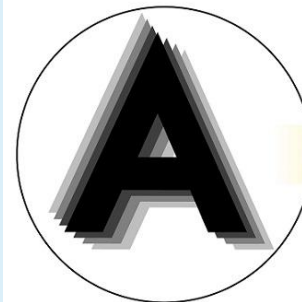
Нормальное зрение
(фокус на сетчатке)



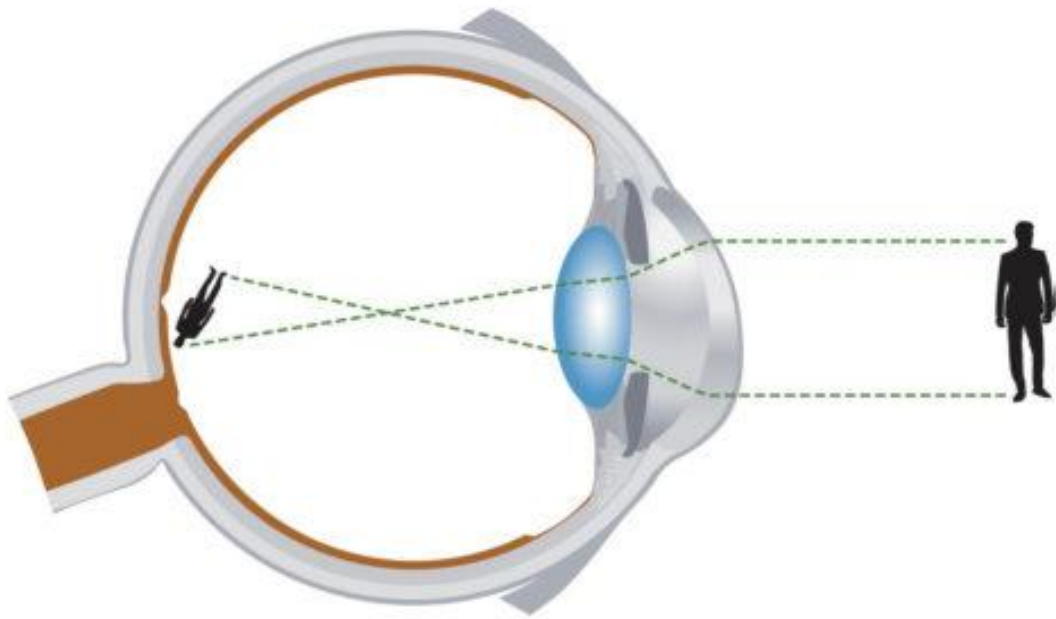
Нормальное зрение
(фокус на сетчатке)



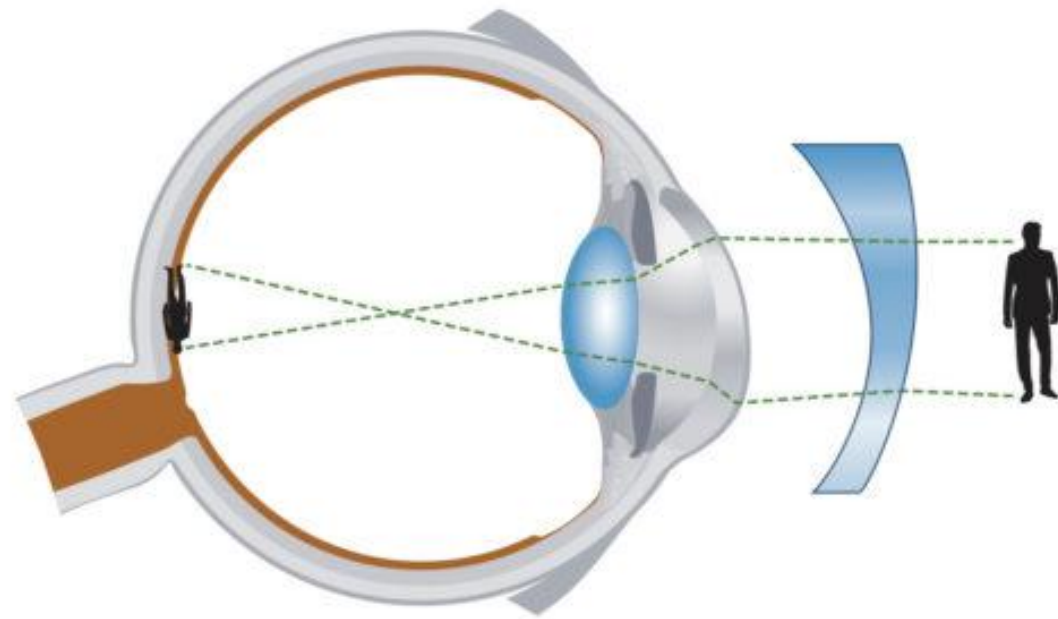
Астигматизм
(2 фокуса)



Коррекция астигматизма



АСТИГМАТИЗМ БЕЗ КОРРЕКЦИИ



**КОРРЕКЦИЯ АСТИГМАТИЗМА
ЛИНЗАМИ**

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Совместное действие клеток говорит о том, что сигнал начался /закончился (это один из видов кодирования информации). Таких видов много, некоторые увеличивают свою частоту, когда увеличивается амплитуда сигнала. Само кодирование направлено на сокращение информации, которая передается в мозг.

