

# \* Общая физиология зрения

Дисциплина «Естественно-научные  
основы мультимедиа»

- Строение и оптическая система глаза.
- Устройство сетчатки. Фотопическое и скотопическое зрение. Сумеречное зрение
- Поле зрения. Погружение в виртуальный мир
- Яркостная адаптация и контрастная чувствительность
- Пространственная и яркостная разрешающие способности

## \* Содержание

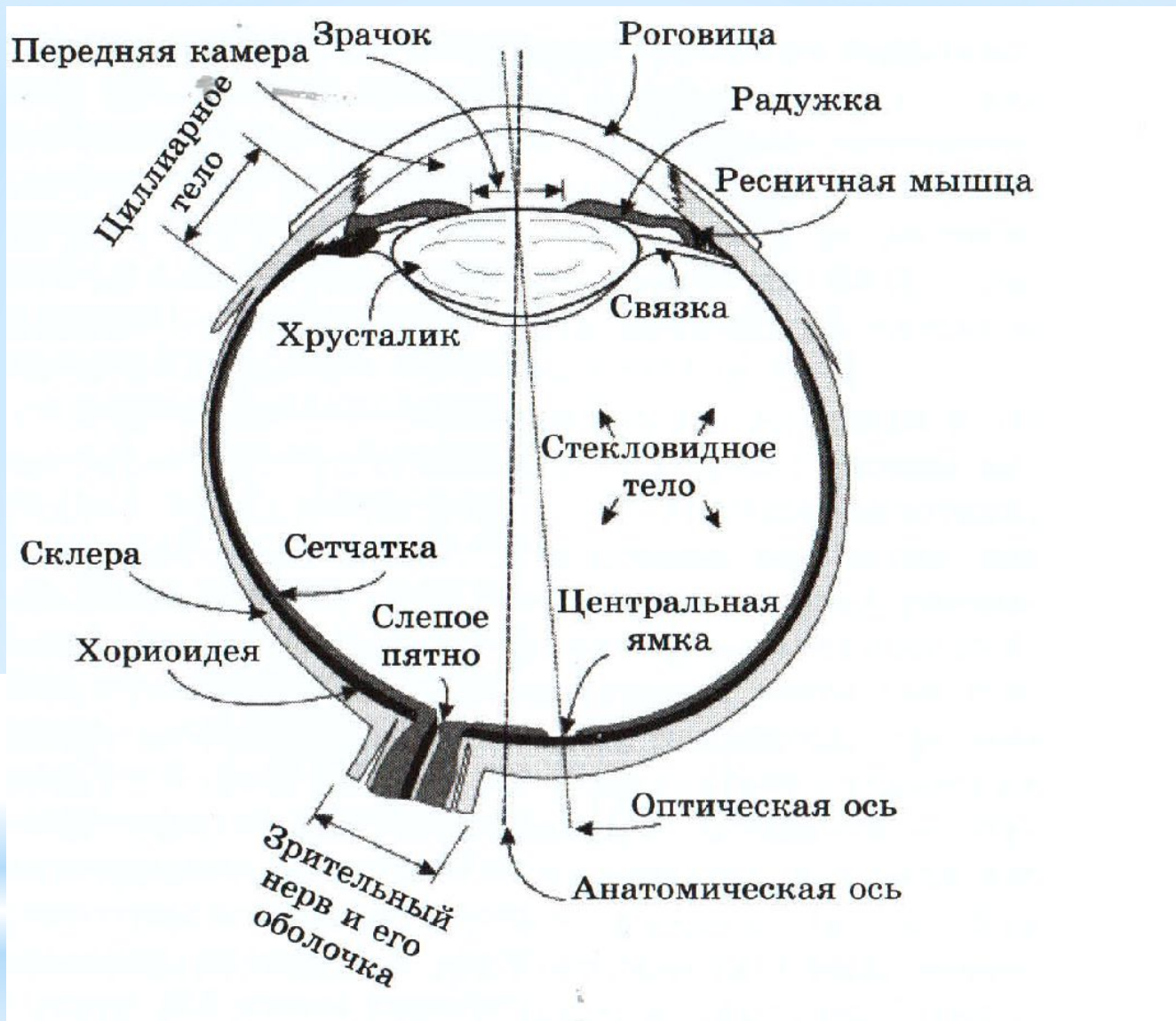
\*1. А.В. Крапивенко

\*Учебное пособие «Технологии мультимедиа и восприятие ощущений»

\*Москва

\*Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
2012

\***Литература**



\* **Строение и оптическая система глаза**

\* Считается, что через зрение в мозг поступает от 80% до 90% всей информации об окружающей среде

\* **Строение и оптическая система глаза**

\* **Зрительный анализатор -**

\* Совокупность структур, воспринимающих световое излучение и формирующих зрительные изображения:

\* Фоторецепторы (и связанные с ними нейроны глаза), проводящие пути (зрительный нерв, зрительный тракт), нервные клетки (в сетчатке глаза, среднем и промежуточном мозге, в затылочной доле коры больших полушарий)

\* **Строение и оптическая система глаза**

- \* Электромагнитные волны, воспринимаемые человеческим глазом, заключены в пределах
- \* от 380-390 нм до 670-780 нм
- \* Возбуждение фоторецепторов наступает при воздействии 1-2 квантов света

**\* Строение и оптическая система глаза**

## Строение глаза

- \* Глазное Яблоко - 2-2,5 см в диаметре.
- \* Роговица - жесткая оболочка, закрывающая переднюю поверхность глаза, обладает хорошими оптическими свойствами
- \* Склера - наружная непрозрачная оболочка
- \* Сосудистая оболочка - хориоидея
- \* Сетчатка - нейрोगлиальная оболочка
- \* Стекловидное тело -
- \* опорная ткань глазного яблока

\* **Строение и оптическая система глаза**



- \* Радужная оболочка (радужка) - кольцевая мембрана впереди хрусталика
- \* Зрачок - отверстие в радужной оболочке, играет роль диафрагмы
- \* Диаметр зрачка -
- \* апертура глаза - 7,5 - 1,8 мм
- \* Оптимальные условия для высокой остроты зрения - апертура глаза - 3 мм

## \* Строение и оптическая система глаза

**\*Хрусталик** - двояковыпуклая линза

(60-70% воды, 6% жиров и больше белков, чем в других тканях глаза)

**Катаракта** - помутнение хрусталика

**Белок хрусталика существенно поглощает инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, поэтому при высокой интенсивности излучения, попадающего в глаз может произойти потеря зрения**

**\* Строение и оптическая система глаза**

\* **Оптическая система глаза:**

\* **роговица, водянистая влага передней камеры, хрусталика и стекловидного тела**

\* **Изображение с помощью роговицы и хрусталика фокусируется в перевернутом виде на светочувствительную поверхность задней стенки глазного яблока**

\* **Строение и оптическая система глаза**

- \* Левый глаз передает информацию в зрительный центр мозга правого полушария
- \* и наоборот
- \* Правый глаз передает информацию в зрительный центр мозга левого полушария
- \* Результат - изображение реальное, а не перевернутое

\* **Строение и оптическая система глаза**

- \* **Рефракция** - преломляющая сила глаза
- \* измеряется в диоптриях
- \* 1 диоптрия - преломляющая сила линзы с фокусным расстоянием в 1м
- \* **Роговица** - 43 диоптрии
- \* **Хрусталик** - 19-33 диоптрии (в зависимости от расстояния до объекта)
- \* **Суммарная преломляющая сила оптической системы глаза** - 62-76 диоптрий

\* **Строение и оптическая система глаза**

- \* **Цилиарные мышцы** - воздействуют на хрусталик через подвешивающие связки
- \* При взгляде на удаленные объекты хрусталик расслабляется, при взгляде на близкие объекты увеличивается выпуклость хрусталика
- \* Фокусирование предметов, находящихся на разном расстоянии, за счет изменения кривизны хрусталика называется - **аккомодацией**

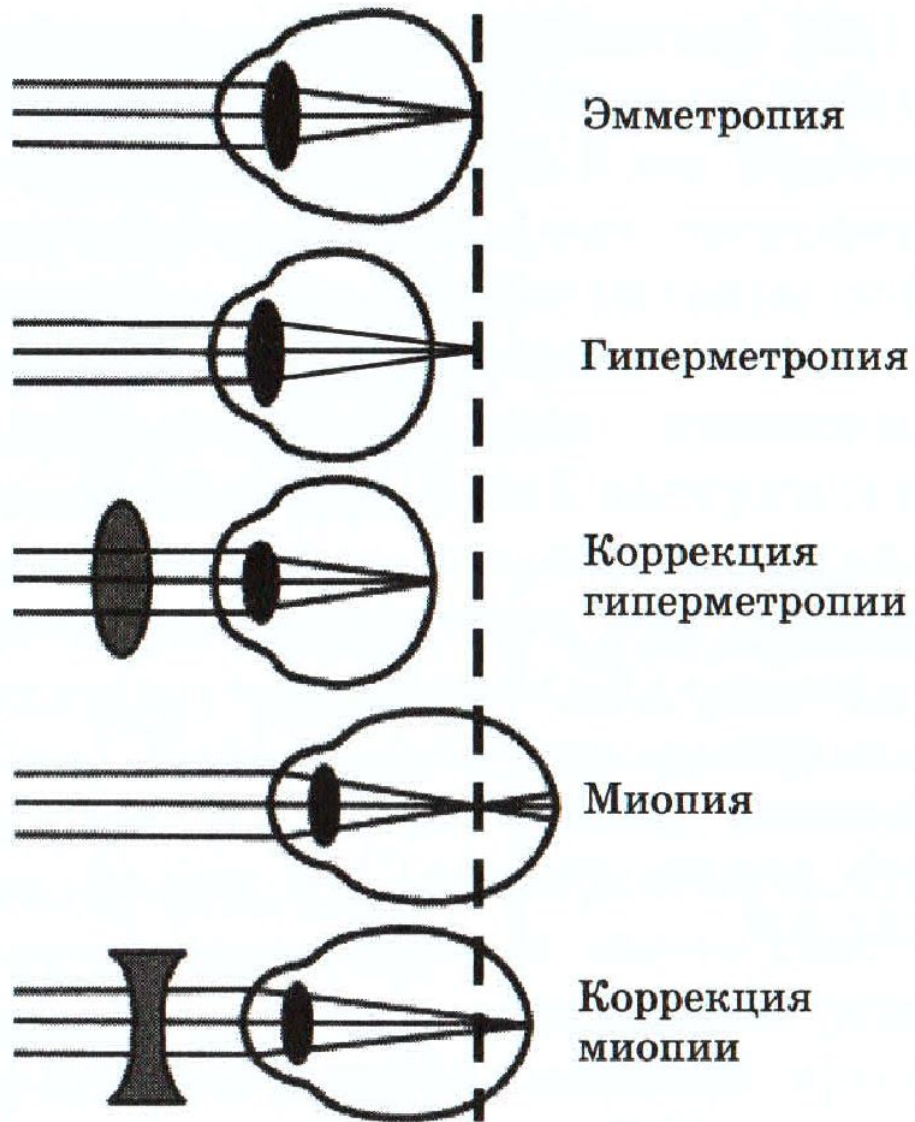
## **Строение и оптическая система глаза**

**\* Самая удаленная точка ясного видения для глаза лежит в бесконечности**

**\* Ближайшая точка ясного видения - на расстоянии 14 см от глаза**

**\* Условие ясного видения - фокусировка лучей на сетчатке - ЭММЕТРОПИЯ**

**\* Строение и оптическая система глаза**



\* **Строение и оптическая система глаза**



- \* **Миомия (близорукость)** - вид нарушения рефракции, при которой световые лучи, отраженные от предмета после прохождения через светопреломляющий аппарат глаза **фокусируются перед сетчаткой**
- \* **Гиперметропия (дальнозоркость)** - лучи от далеко расположенных предметов **фокусируются за сетчаткой**
- \* **Корректор диоптрий** - составная часть фото и видеоаппаратуры, встраиваемая в окуляр, для устранения отклонений от эмметропии

\* **Строение и оптическая система глаза**

- \* **Сетчатка (рети́на)** - светочувствительная поверхность задней стенки глазного яблока, имеет три основных слоя:
- \* **Слой из палочек и колбочек** - преобразование световой энергии в нервные сигналы
- \* **Слой из горизонтальных и биполярных клеток** - обеспечение контакта с палочками и колбочками и передача сигнала в виде различных частот
- \* **Слой, состоящий из ганглий** - **оптический нерв**, передающий сигналы в область мозга, ответственную за обработку изображений

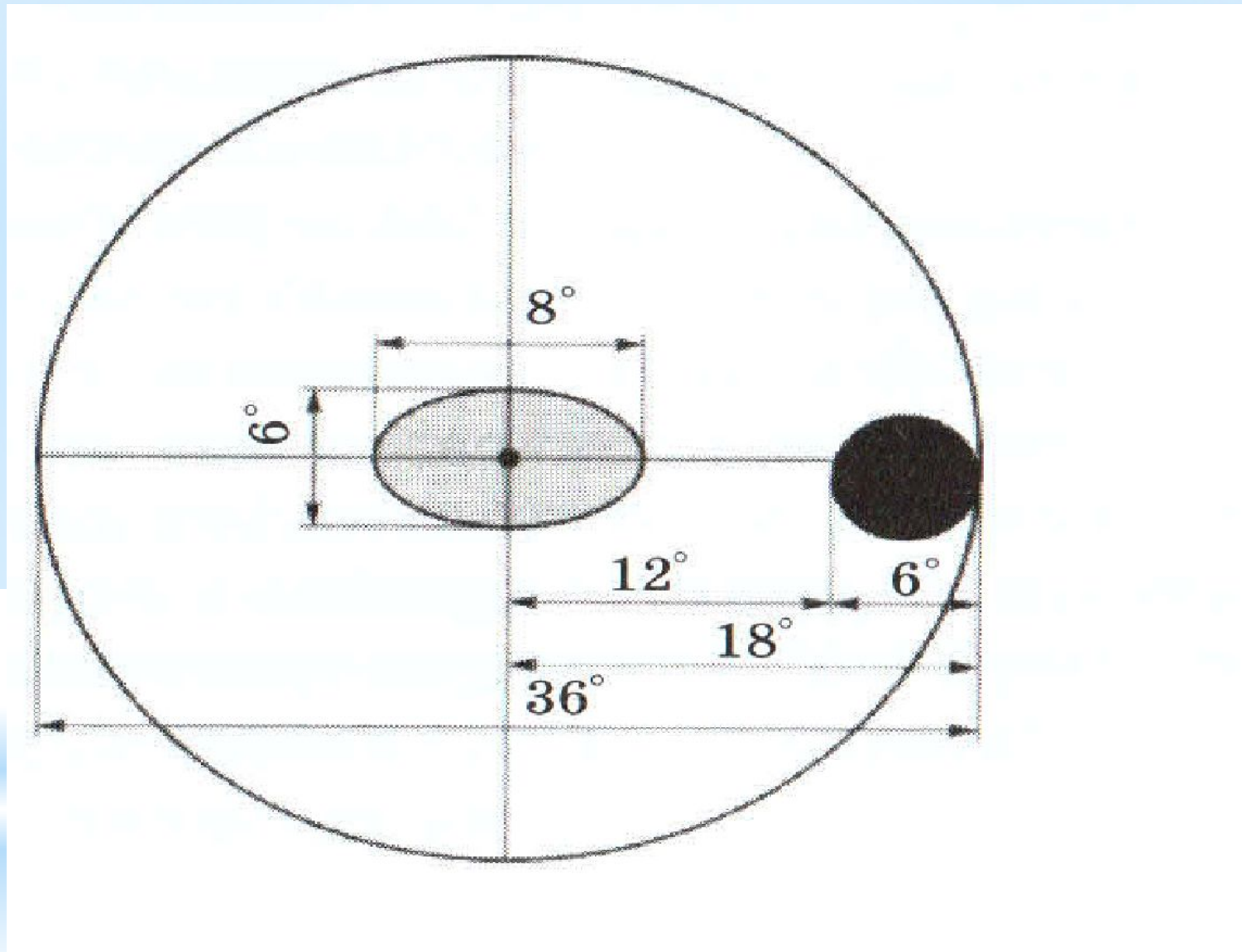
**Устройство сетчатки. Сумеречное зрение**

- \* Сетчатка имеет -
  - \* **110-125 млн палочек, 6-7 млн колбочек**
  - \* На 1 колбочку приходится 17 палочек
  - \* Колбочки обеспечивают -
  - \* **фотопическое зрение (дневное)** - монохромное, ахроматическое, цветное, четкое различие мелких деталей
  - \* 1 колбочка - одно нервное окончание
  - \* Палочки- **скотопическое зрение (ночное)** - ахроматическое, бесцветное, характерна высокая световая чувствительность
  - \* 10-400 палочек - одно нервное окончание
- 
- \* **Переходное зрение -**
  - \* **сумеречное (мезопическое)**

## **Устройство сетчатки. Сумеречное зрение**

- \* Область наибольшей концентрации колбочек - желтое пятно
- \* В центре желтого пятна - центральная ямка (1-3 угловых градуса) - область наибольшей остроты зрения - 3-4 мм к виску и выше глазного нерва
- \* Слепое пятно (не имеет фоторецепторов) - место выхода оптического нерва - на расстоянии 12 градусов от центральной ямки
- \* (открыто французским физиком Э. Мариоттом
- \* в 1668 году)
- \* В слепое пятно попадает не более 15% всей визуальной информации

## Устройство сетчатки. Сумеречное зрение



\* Устройство сетчатки. Глазное дно

- \* Система горизонтальных клеток - между слоем с колбочками и палочками и слоем биполярных клеток - осуществляет перекодировку сигналов, распределение освещенности пропорционально соотношению разницы между локальной и средней освещенностью к средней освещенности
- \* Положительное значение - при включении света
- \* Отрицательное значение - при выключении света
- \* Процесс - адаптация зрительной системы к уровню освещенности

**Устройство сетчатки. Сумеречное зрение**

- \* Информация об интенсивности света ,  
попадающая на светочувствительную клетку -  
рецептор, передается в мозг посредством  
изменения частоты следования нервных  
импульсов, которые поступают в наружное  
коленчатое тело и далее в зрительные центры  
коры затылочной части мозга.
- \* Низкие частоты, передающие изображение  
контуров, передаются в первую очередь
- \* Во вторую очередь - высокие частоты,  
передающие изображение мелких деталей

**Устройство сетчатки. Сумеречное зрение**

\* Один из эффектов маскировки объектов - нанесение большого количества разноцветных маскировочных пятен - высокочастотных шумов, затрудняющих распознавание контуров

**Устройство сетчатки. Сумеречное зрение**



\* Разновидности:

\* - физиологическое поле зрения

\* - анатомическое поле зрения

\* - оперативное поле зрения -  
часть поля зрения, которая  
воспринимается и опознается  
человеком одновременно

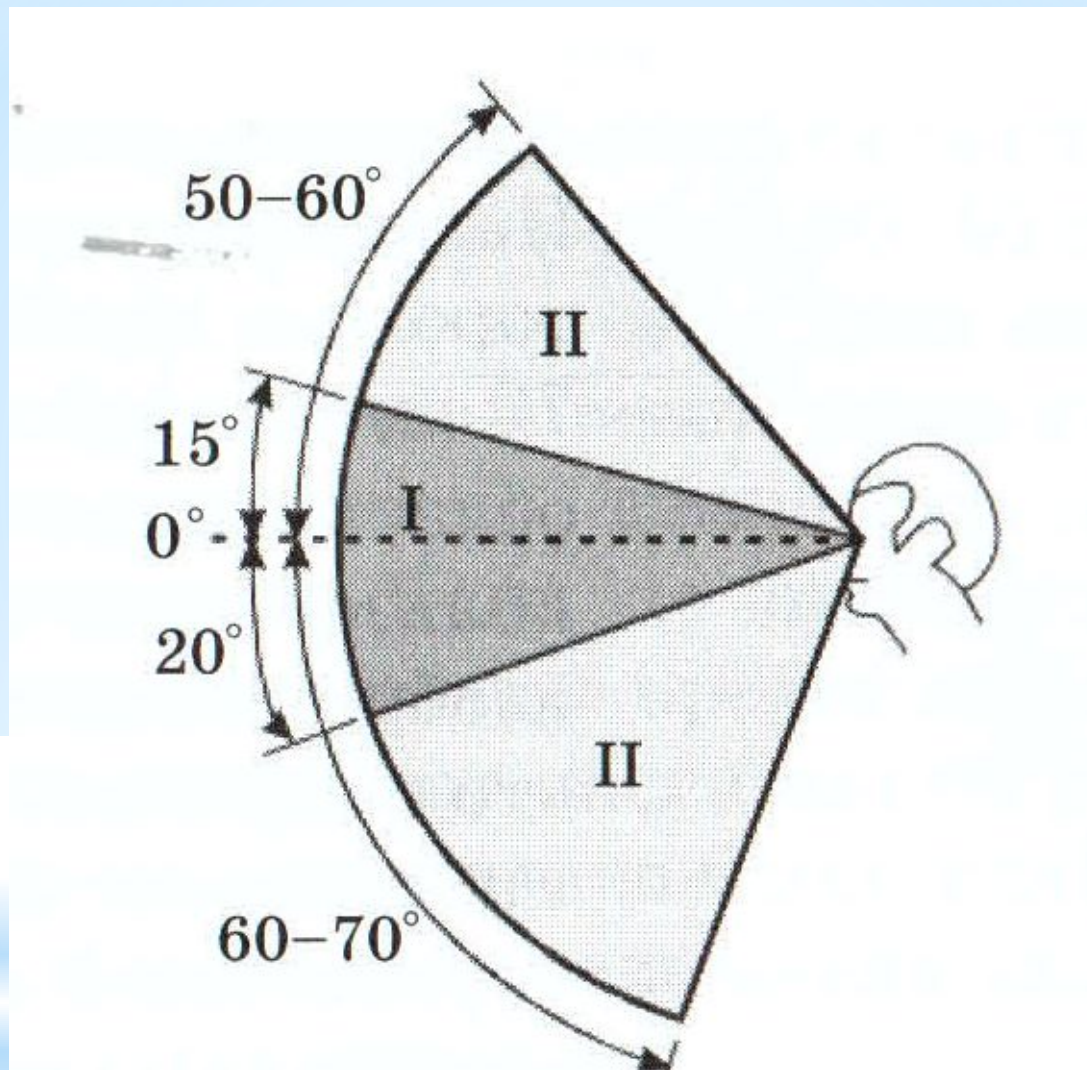
\* Поле зрения.

Погружение в виртуальный мир.

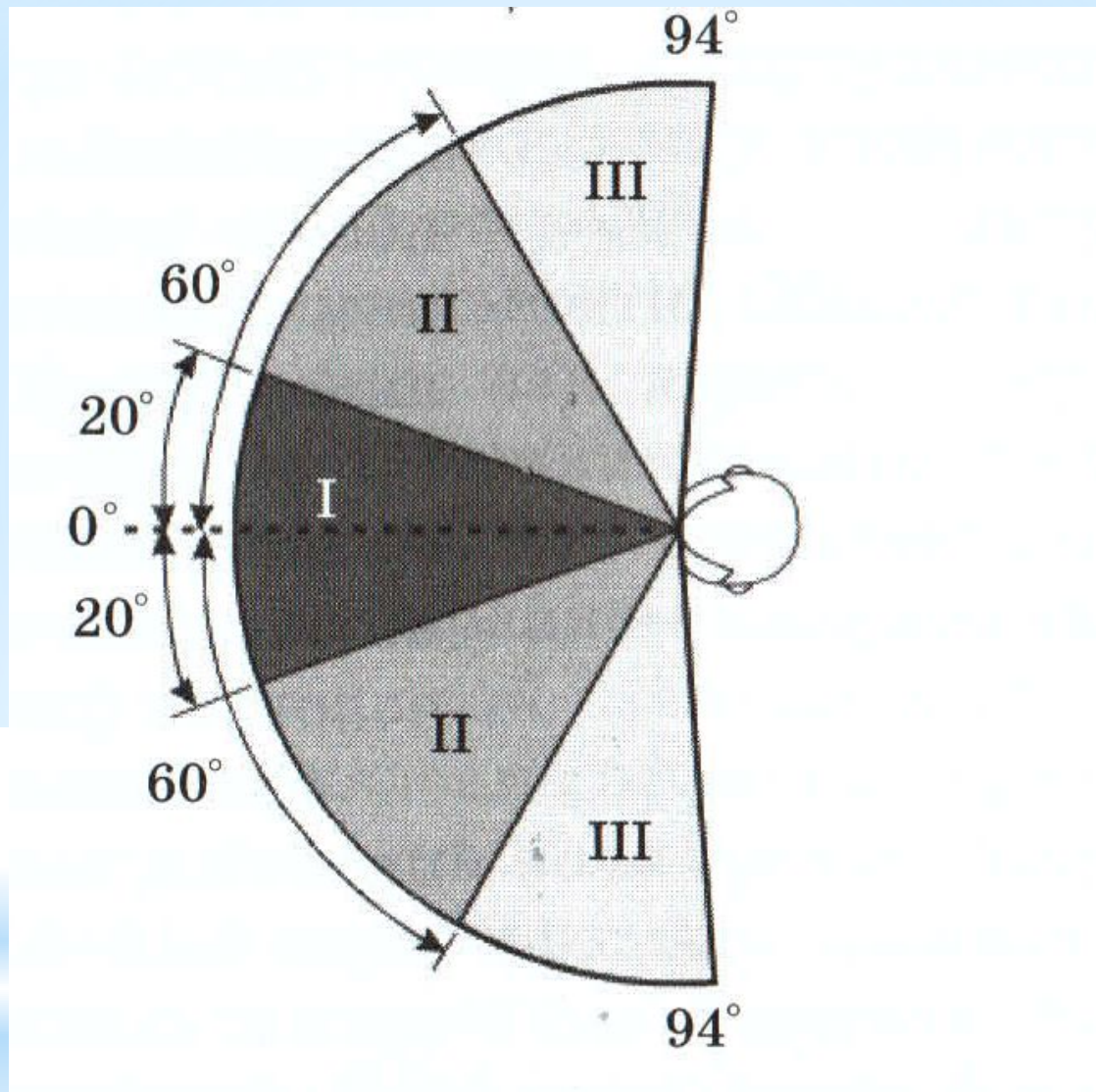
- \* Различают
- \* Бинокулярное зрение -
- \* 30-40 градусов по горизонтали,
- \* 10-15 градусов вверх,
- \* 20 градусов вниз

\* Монокулярное зрение

**Поле зрения.  
Погружение в виртуальный мир.**



\* Поле зрения человека



\* Поле зрения человека

- \* I - зона четкого бинокулярного зрения
- \* II - зона периферического бинокулярного зрения
- \* III - зона периферического монокулярного зрения (материальная)
- \* I и II - объединяются в медиальную часть поля зрения, доступна обоим полушариям мозга

**\* Поле зрения человека**

## \* Монокулярное поле зрения -

По горизонтали:

- \* 90-110 градусов к виску,
- \* 50-70 градусов - к носу,
- \* всего 140-170 градусов;

По вертикали:

- \* 50-60 градусов - вверх,
- \* 60-75 градусов - вниз,
- \* Всего 110-135 градусов

\* Поле зрения человека

\* Поле, охватываемое двумя глазами -

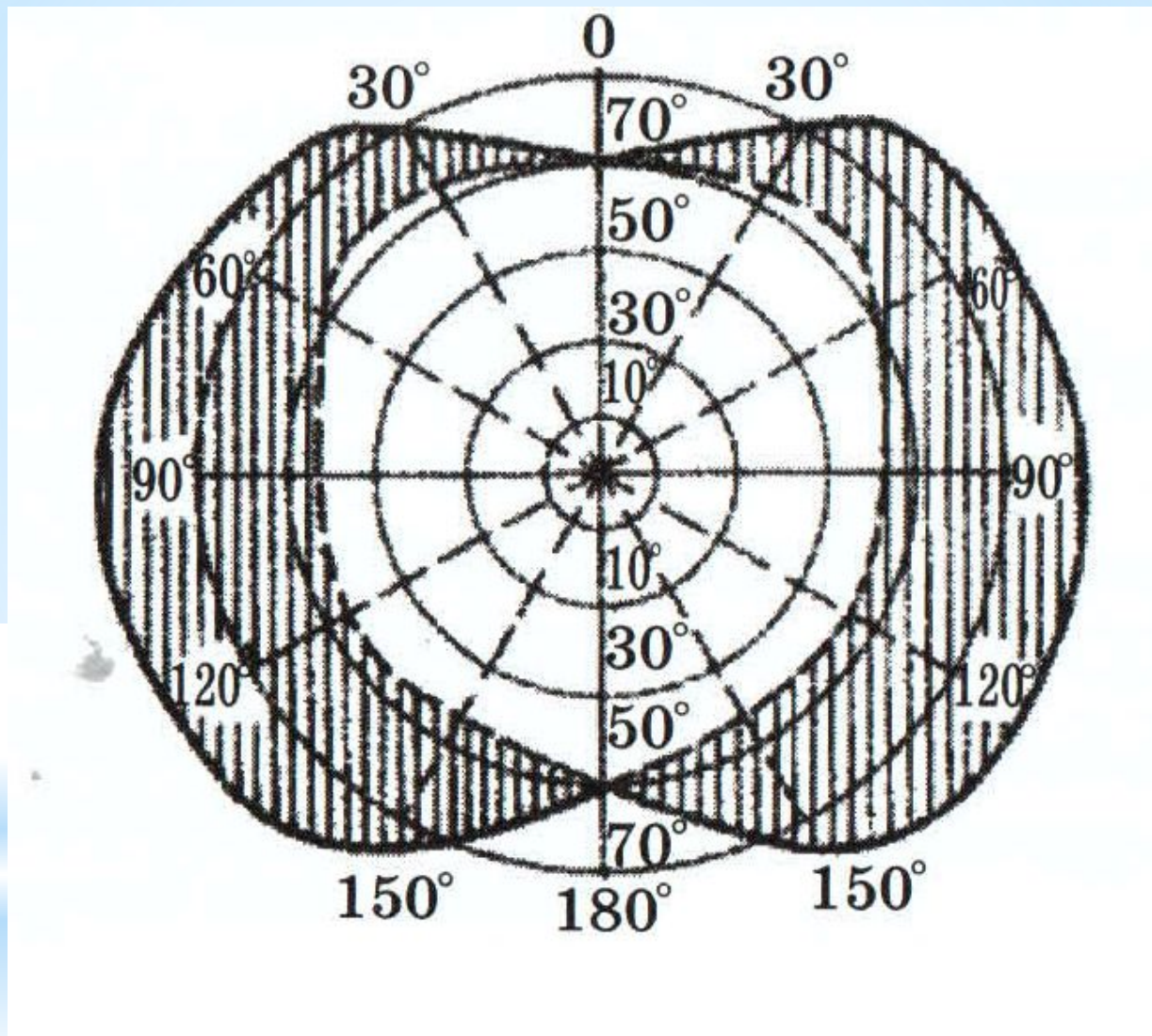
\* по горизонтали более 180 градусов;

\* По вертикали около 120 градусов

\* Отклонение от зрительных осей при вращении глаз

\* 45-50 градусов

**\* Поле зрения человека**



\* Поле зрения обоих глаз человека



- \* Факторы,
- \* влияющие на поле зрения человека:
  - \* - миопия (аметропия - близорукость);
  - \* - анатомическое строение лица;
  - \* - размер зрачка;
  - \* - яркость, контраст, размер и цвет;
  - \* - зрительное утомление
  - \* - возраст (максимальное зрение - 20-24 года)

\* **Поле зрения человека**

\* Внутренние отрицательные факторы

\* Скотомы -

участки с пониженной или отсутствующей  
световой чувствительностью

\* Поле зрения человека

\* Большая зона восприятия  
окружающей действительности -

\* это плюс?

На мониторе (21 дюйм, на  
расстоянии 70 см, рабочая область  
20-30 градусов) -

нет эффекта иллюзии погружения

\* Поле зрения человека  
Погружение в виртуальный мир

**Способы создания эффекта погружения - концентрация внимания на экранном изображении:**

- \* - увеличение воспринимаемого глазами изображения до размера более 60 градусов в горизонтальной плоскости, например соотношение сторон монитора сделать 16/9 вместо 4/3
- \* - шлемы виртуальной реальности (отсечение посторонних изображений)
- \* **Отрицательная сторона** - эффект туннельного зрения (трубчатое поле зрения - например, водитель на большой скорости)

**\* Поле зрения.  
Погружение в виртуальный мир**

Возникновение трубчатого поля зрения связано:

- \* - с концентрацией зрения на некоторой точке
- \* - с низкой пропускной способностью зрительного тракта
- \* - с заболеваниями:  
глаукома  
пигментация сетчатки

**\* Трубчатое поле зрения**

\* **Минимальный предел видения палочек** - эквивалентен освещенности в пасмурную безлунную ночь (после достаточной темновой адаптации);

\* **Минимальный предел видения колбочек**

\* - соответствует освещенности ночью при 50%-й фазе Луны.

\* **Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

**\* Постоянное и равномерное освещение -**  
динамическое равновесие между скоростью  
распада и восстановлением зрительных  
пигментов;

**\* Уменьшение потока освещенности -**  
увеличение запаса зрительных пигментов  
(чувствительность фоторецепторов  
увеличивается - **темновая адаптация**

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

\* Темновая адаптация после яркого света

\* 5-7 минут - 30 минут (до 80%):

Колбочки - 5-7 минут;

Палочки - 30-45 минут (иногда и более)

Чувствительность сетчатки увеличивается

в 10 раз - за 1 минуту;

в 6000 раз - за 20 минут;

в 25000 раз - за 40 минут

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**



\* **Нервная адаптация** - при неравномерном освещении ось зрения перемещается скачками с интервалом в 10-е доли секунды - адаптация к среднему уровню яркости;

\* **Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

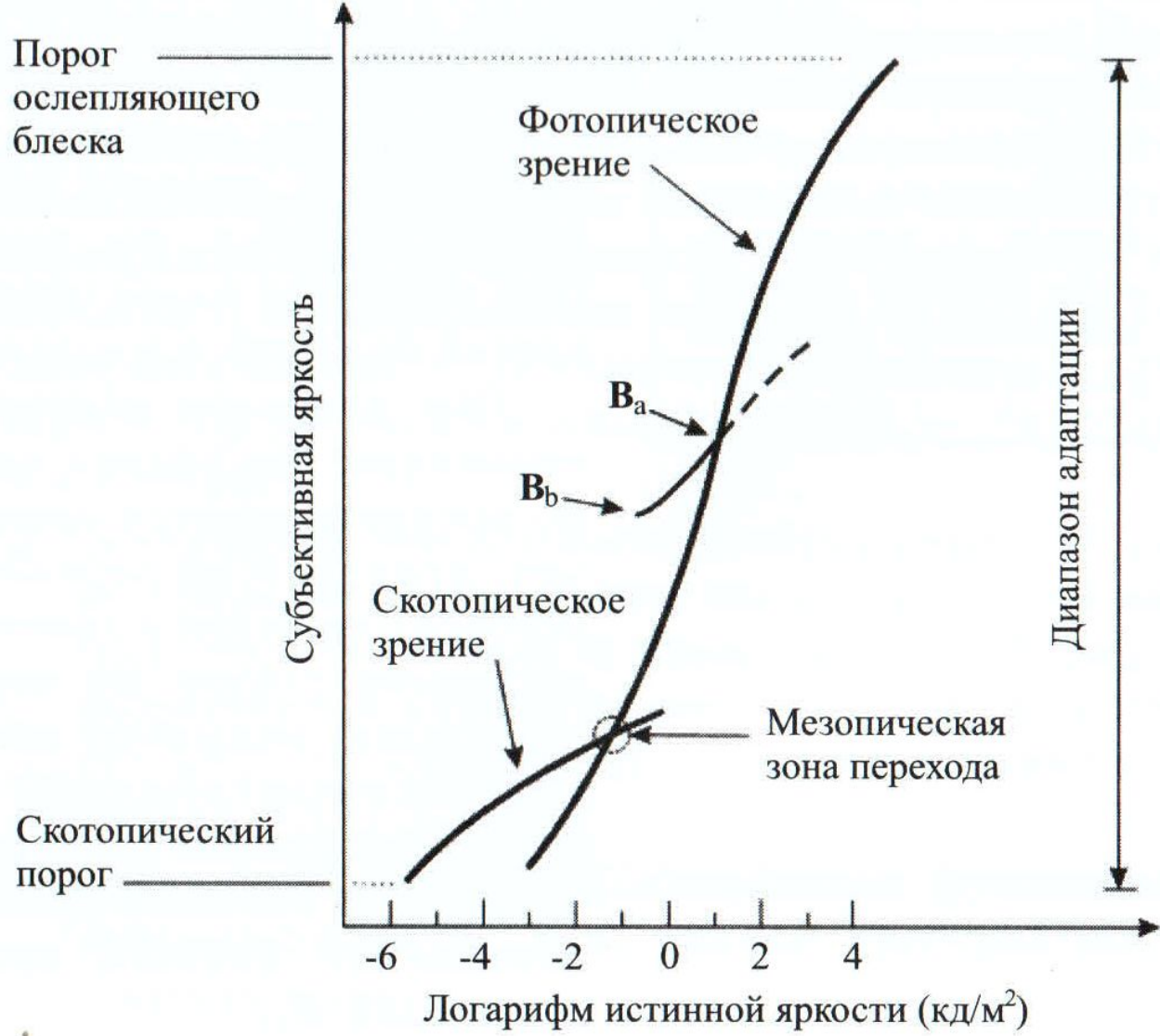
- \* Преобладание палочек на сетчатке - яркостная информация воспринимается быстрее, чем цветовая
- \* Более равномерное распределение палочек на сетчатке - хорошо развитое боковое зрение ночью
- \* Следствие - фотопическое (цветовое) поле зрения меньше скотопического (яркостного)

\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность

## Диапазон яркости, в котором человеческий глаз может адекватно функционировать

Время суток	Ночь	Сумерки	день
Зрение	Скотопическое (палочковое)	Мезопическое (палочково-колбочковое)	Фотопическое (колбочковое)
Логарифмическая шкала яркостей по Ламберту, кд/кв. м	-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6		
Пример яркостного объекта			Значение по шкале яркостей
Палочковый порог темновой адаптации			-6
Снег при пасмурной погоде			-5
Снег при свете звезд			-4
Колбочковый порог темновой адаптации			-3
Снег при полной Луне			-2
Снег в темных сумерках			-1
Белая бумага в 0,3 м от колеблющегося пламени свечи			0
Белая бумага от лампы мощностью 100 вт			+1
Белая бумага при нормальном солнечном освещении			+2
Снег или облака под прямыми солнечными лучами			+3

**\* Яркостная адаптация и контрастная чувствительность**



**Диапазон субъективно воспринимаемой яркости и конкретный уровень адаптации**

В соответствии с графиком

\* **Переход от скотопического к фотопическому зрению**

\* **от 0,003 до 0,3 кд/кв.м**

\* **т.е. от -2,5 до -0,5**

\* **по логарифмической шкале**

\* **Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

- \* **Уровень яркостной адаптации** - текущий уровень чувствительности зрительной системы (например  $V_a$ );
- \*  $V_v - V_a$  - диапазон субъективной яркости, которую способен воспринимать глаз при адаптации к указанному уровню;

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

- \* Уровни яркости ниже  $V_6$  -
- \* воспринимаются как «черные»
- \* (т.е. практически неразличимы)
- \* **абсолютный порог световой чувствительности** - минимальное (пороговое) значение яркости светового пятна, обнаруживаемое глазом на черном фоне при темновой адаптации

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

- \* Величина сигнала  $S_{ki}$  на выходе биполярной клетки, передающей возбуждение

$$S_{ki} = \frac{C_k(I_i - I)}{I}$$

- \*  $C_k$  - постоянный коэффициент, определяется спектральной чувствительностью и спектральным составом
- \*  $I$  - средняя освещенность на сетчатке;
- \*  $I_i$  - локальная освещенность  $i$ -ного рецептора на сетчатке

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**



\* Следствие -

\* Основной закон колориметрии:

\* Восприятие цветового тона и насыщенности не зависит от яркости

\* Основной закон колориметрии для фотопического зрения - восприятие цветов колбочками не меняется при изменении общей яркости сцены

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

- \* Для снижения утомления зрения рекомендуется устанавливать среднюю яркость изображения примерно равной 30 кд/кв.м (установлено практически)
- \* При этом яркость в белых местах изображения может достигать 100-300 кд/кв.м

**\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность**

\* Правило:

\* Для смягчения восприятия при смене сцены, если при этом меняется средняя яркость основного передаваемого объекта, то средняя яркость всего изображения также должна пропорционально изменяться

\* Яркостная адаптация  
и контрастная чувствительность

\* **Острота зрения** - чувствительность зрительного анализатора, отражающая способность различать границы и детали видимых объектов;

\* **Острота зрения количественно** определяется как отношение расстояния, с которого наблюдатель различает какую-либо деталь объекта, к расстоянию, с которого эта деталь видна под углом в 1 угловую минуту

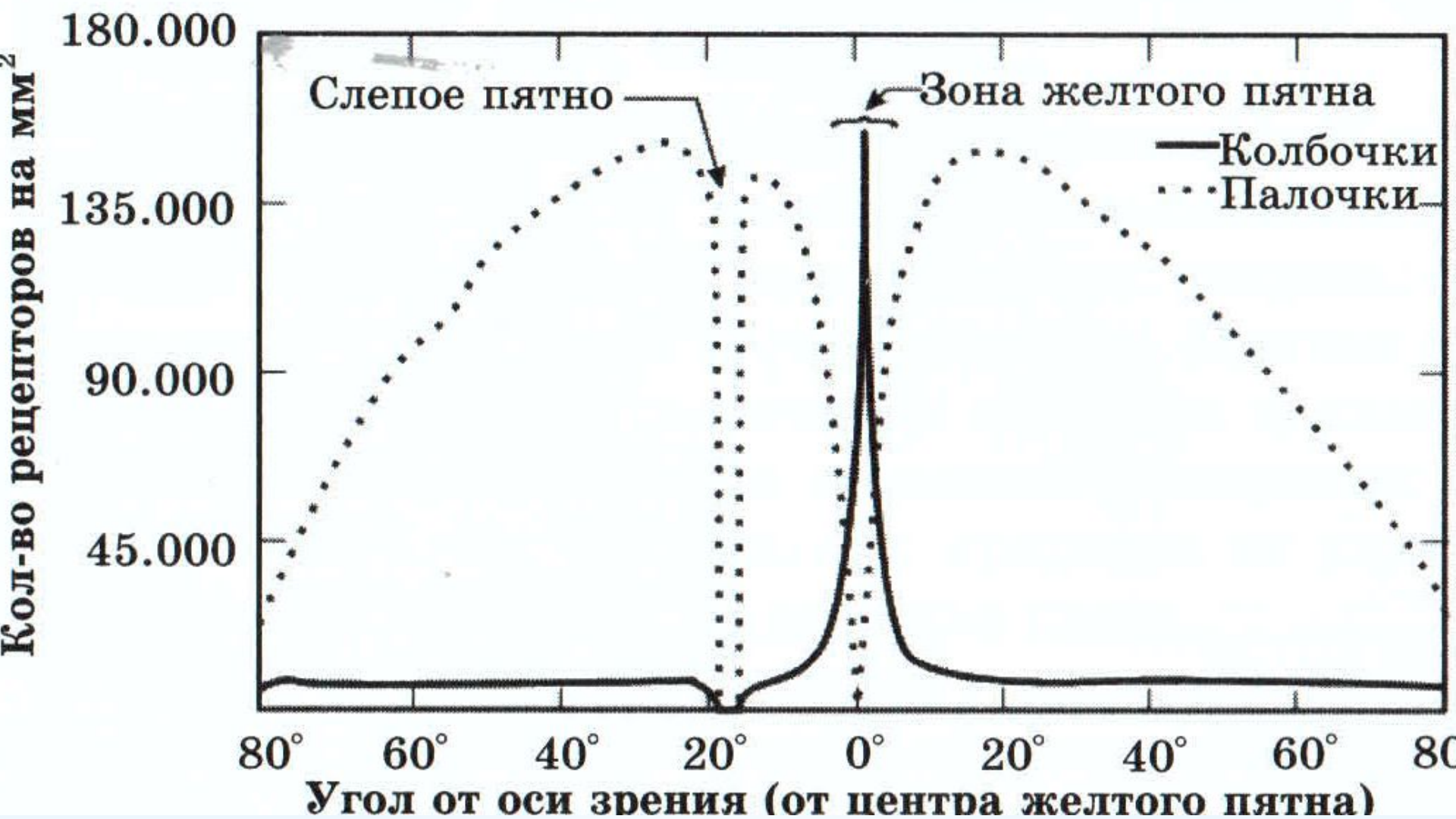
\* **Пространственная и яркостная разрешающие способности**

\* 20 угловых минут зрительного пространства глаза - высокая острота зрения - область фавеолы - область ясного зрения.

\* Следствие

\* - изображение рассматривается по частям, формируя образ в зрительной памяти

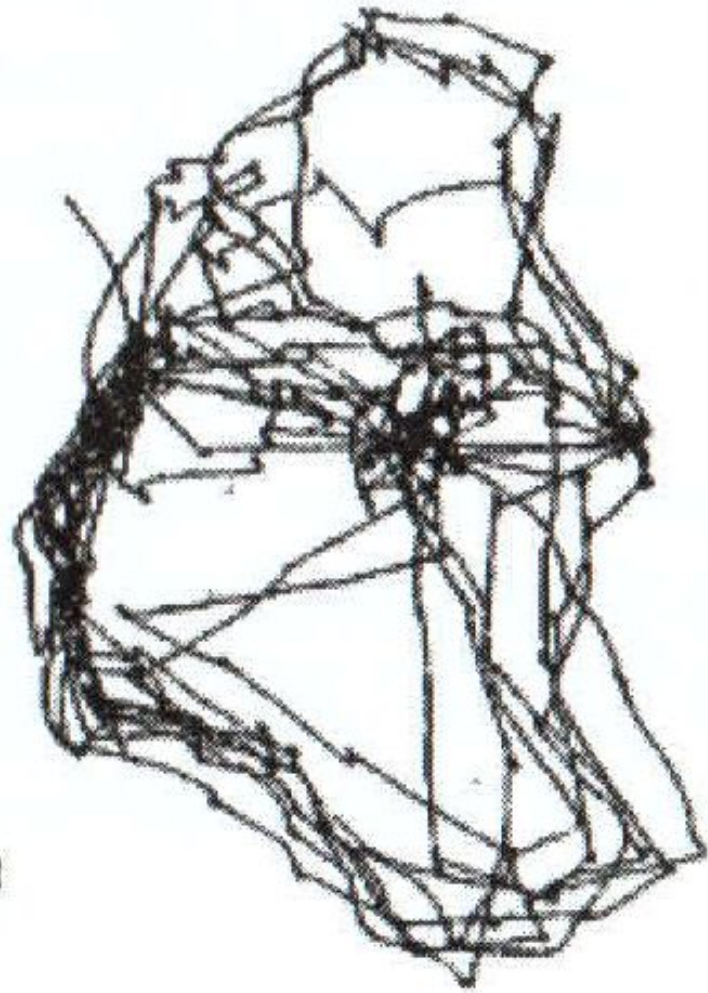
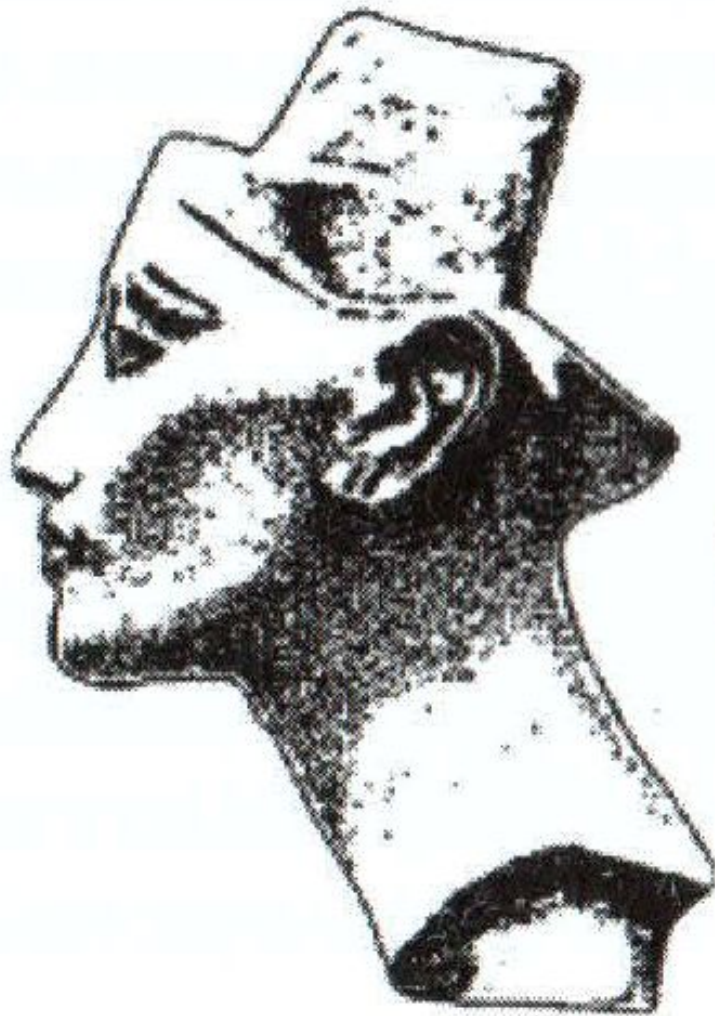
\* Пространственная и яркостная разрешающие способности



\* Зависимость остроты зрения от места раздражения на сетчатке

- \* **Тремор** - произвольные движения глазного яблока;
- \* **Саккады** - скачкообразные движения оси зрения;
- \* Длительность скачка независимо от угла  
- **50-60 мс**
- \* Во время скачка - подавление зрительного восприятия;
- \* Угол поворота оси зрения **15-20 градусов** -  
движение глаз **2-3 скачка**

\* **Пространственная и яркостная разрешающие способности**



\* Запись движения глаза при рассматривании скульптурного изображения головы Нефертити



- \* Правило - скорость движения глаз постоянна при повороте на один и тот же угол для определенного наблюдателя;
- \* При скачке 5 градусов - максимальная скорость движения глаз 200 градусов в секунду;
- \* 20 градусов - 450 градусов в секунду;
- \* Зона нечувствительности - около 48 минут
- \* Правило:
- \* точки фиксации всегда располагаются вблизи контуров изображений (выяснено в результате исследований)

\* Пространственная и яркостная разрешающие способности

\* Минимальный угловой размер, который может увидеть человек - 0,5 - 1 угловая минута

\* Максимальное общее разрешение взгляда в угловых минутах:

\* При бинокулярном зрении -

(180 на 135) градусов \*60 мин/1 мин=  
10800 мин\*8100 мин;

При монокулярном зрении -

(140\*135) градусов\*60мин/1мин=8400мин\*8100мин

При условии, что:

острота зрения равна 1 угловой минуте

\* Обобщение.

Разрешающая способность глаза

\* Для мультимедиа учитывается оперативное поле зрения - информация поступает в область ясного видения;

\* В телевидении принято считать область ясного видения:

12 градусов - по вертикали;

16 градусов - по горизонтали

Следствие: соотношение горизонтали и вертикали экрана -  $4 / 3$

\* Область ясного видения  
для мультимедиа

По телевизионным стандартам PAL и SEKAM  
Рекомендуется находиться от экрана на  
оптимальном расстоянии

$$L_{\text{опт.}} = 5h$$

$h$  - высота кадра с соотношением 4/3

**\* Рекомендуемое расстояние от  
телевизионных экранов**

\* **Яркостное** (или полутоновое) разрешение - мельчайшее различимое изменение яркости.

\* Информация об изменении контура улавливается с меньшей скоростью (особенно без изменении направления изгиба), чем информация об изменении цвета и яркости (используется при сжатии видеоинформации с частичной потерей качества)

\* **Пространственная и яркостная разрешающие способности**