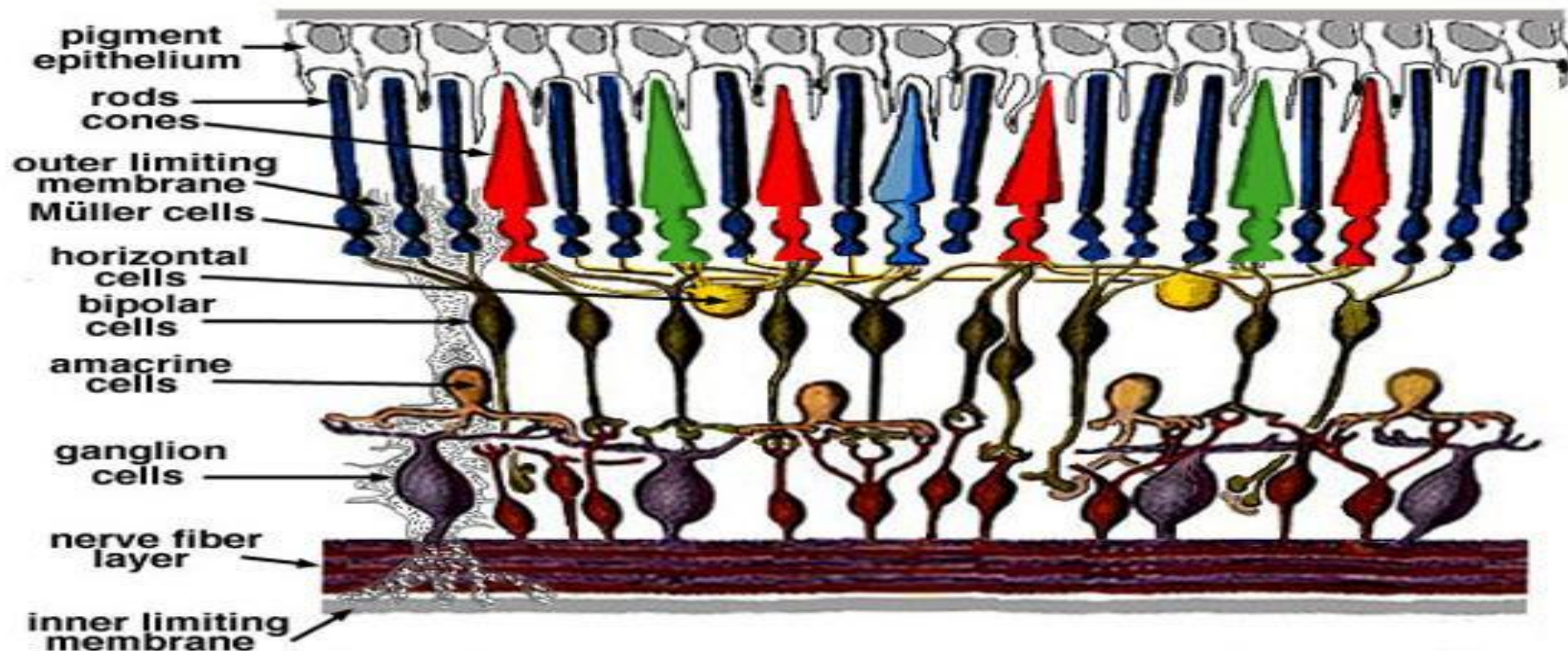




Зрение

Чтобы видеть, нам нужен свет.

Что такое свет?

Свет – это поток электромагнитного излучения в виде квантов, обладающих свойствами частицы и волны.

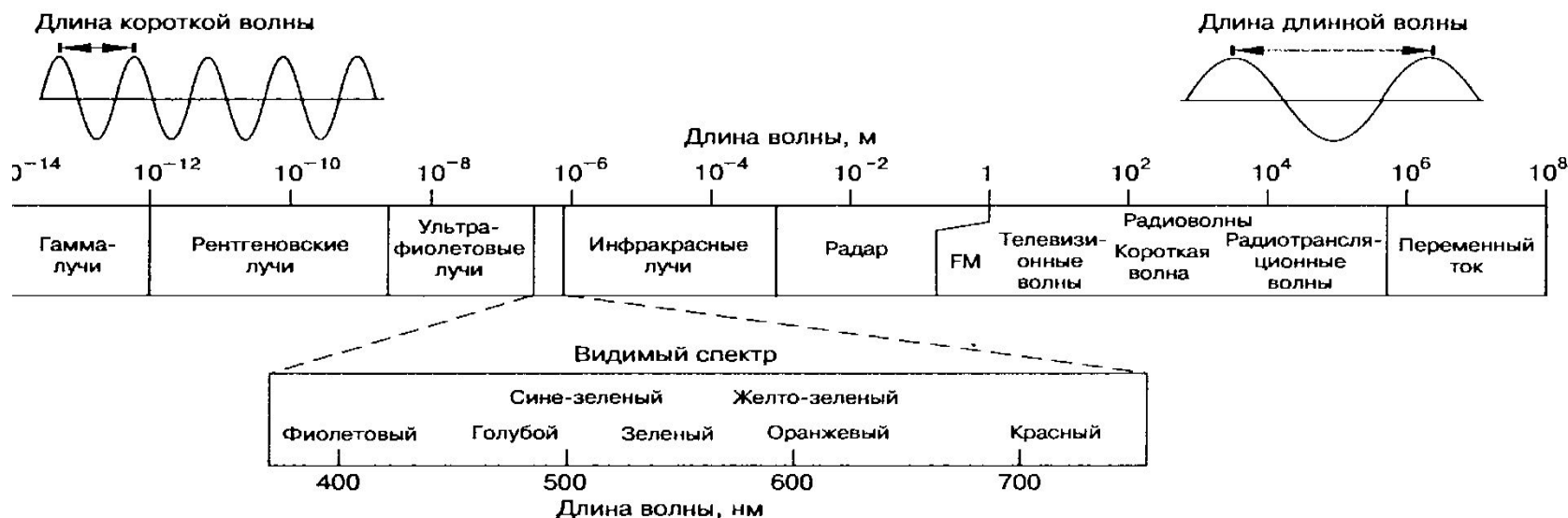


Рис. 3.2. Электромагнитный спектр

Скорость света = $3 \cdot 10^{10}$ см/сек

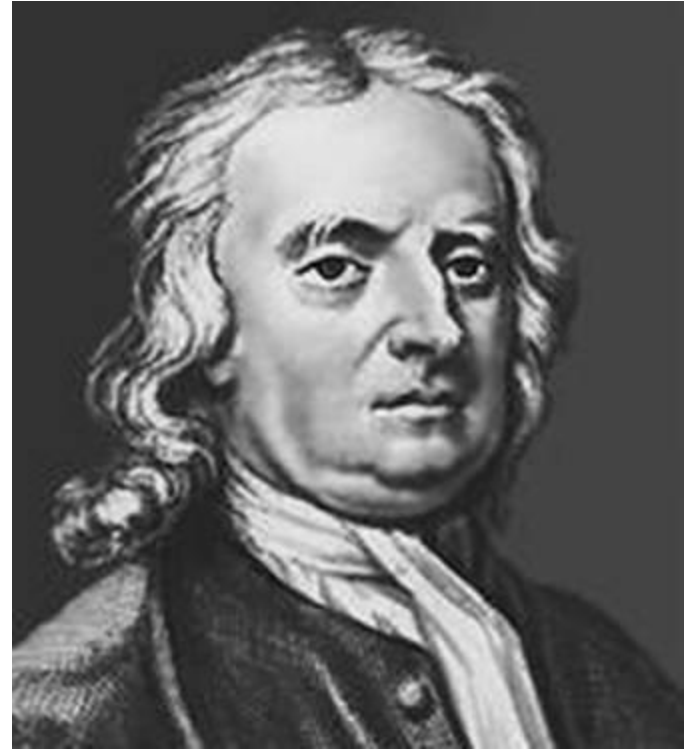
Мы всегда видим прошлое

Учение о свете создал **И.Ньютон**.

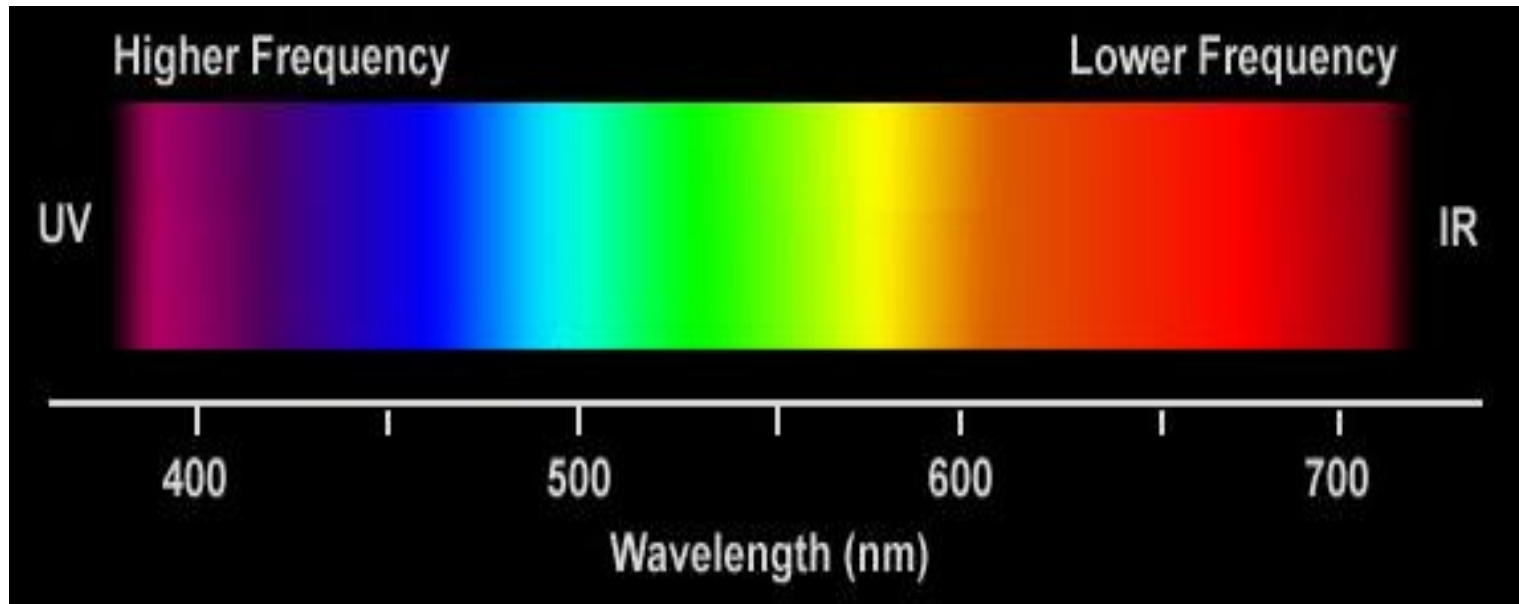
Работа И.Ньютона называется «Оптика», написана в Тринити-Колледже в Кембридже, в комнатах, которые существуют и поныне и в которых все еще живут студенты.

В феврале 1692 г., после того как книга почти полностью была завершена, рукопись и все его заметки сгорели от пламени свечи в то время, когда он был в церкви.

Только в 1704 г. он восстановил и опубликовал эту работу – она была его последней книгой.



Ньютон показал, что белый свет состоит из всех цветов спектра, а каждому цвету соответствует определенная частота волны.



Ньютон любил число 7 – магическую цифру! И обозначил 7 цветов спектра: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый.

7 основных цветов, плюс оттенки – проблема в нахождении более 200 различных типов рецепторов, чувствительных к каждому отдельному цвету.

В 1801г. **Т. Юнг** положил начало исследованиям цветового зрения (Гельмгольц, Ломоносов):



Почти невозможно представить себе, что каждая чувствительная точка сетчатки содержит бесчисленное множество составных частиц, способных улавливать каждую частоту светового колебания, поэтому мы приходим к предположению о существовании ограниченного числа рецепторов сетчатки, воспринимающих, например, такие 3 основных цвета, как



Доказательства трех типов рецепторов и трех-компонентной теории цветового зрения.

- Цвета можно смешивать;
- Три морфологических типа фоторецепторов;
- Три фотопигмента колбочек: эритролаб, хлоролаб, цианолаб (W.Marx, 1964) ;
- Три кривые чувствительности (Д. Уолд, Пол Браун в Гарварде и Э. Мак-Никол, У. Маркс, 1959);
- Три формы патологии цветового зрения

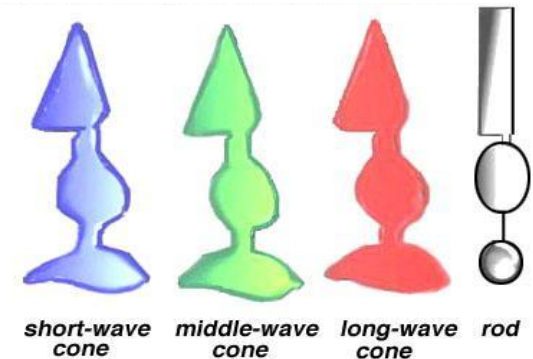
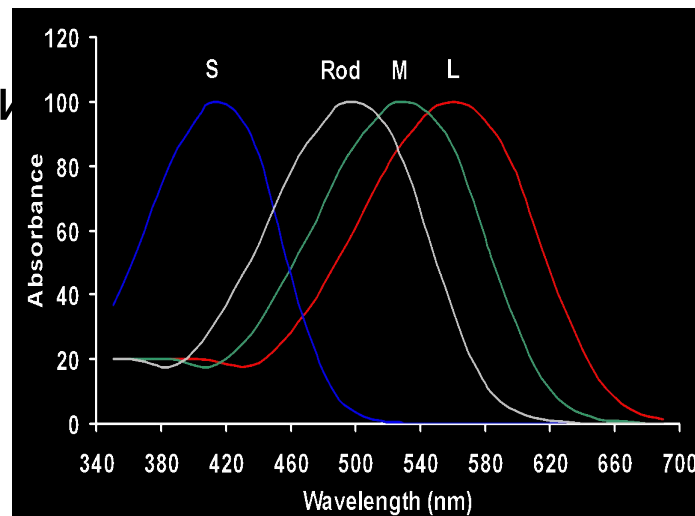
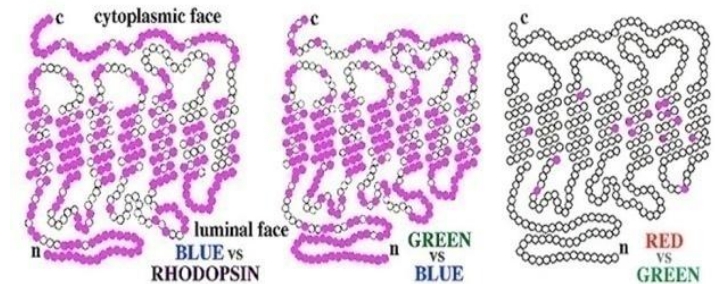
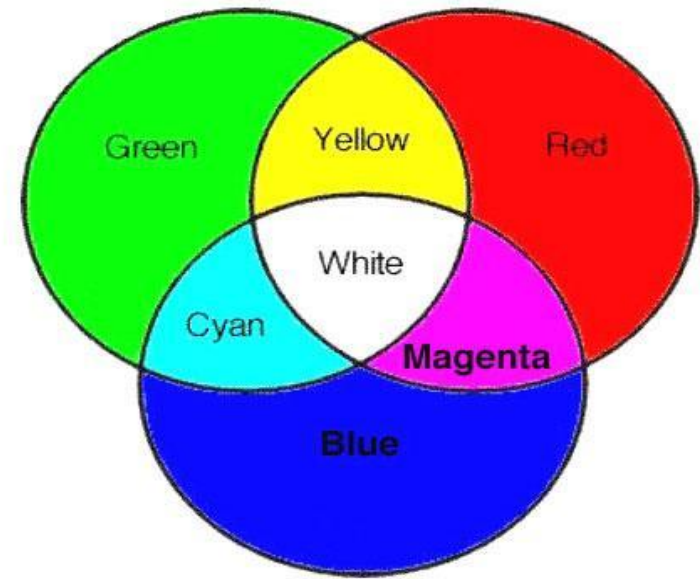
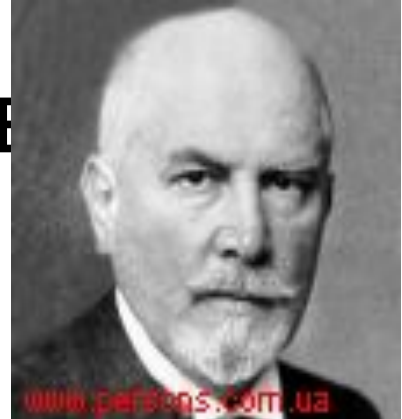


Fig. 13. There are four photoreceptor types in the human retina. Short-wavelength cones (blue), medium wavelength cones (green), long wavelength cones (red) and rods.

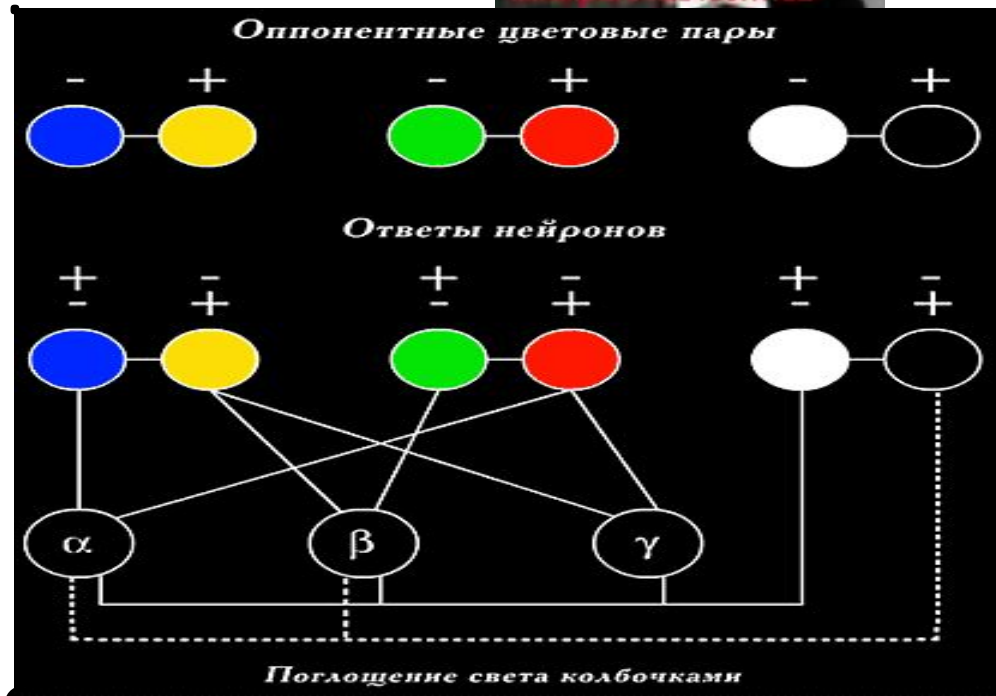
Теория оппонентных цветов

Э. Геринга 1874г.



Три пары ощущений:

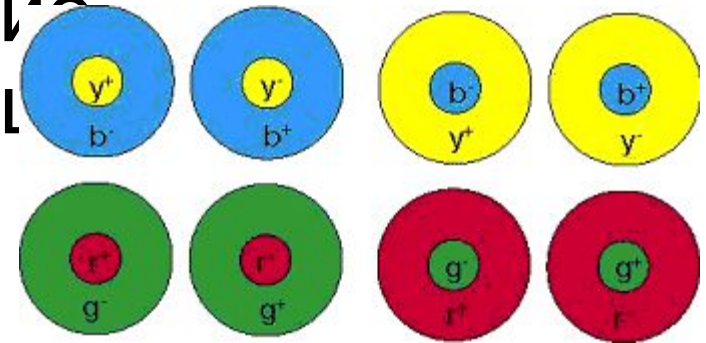
- черного – белого,
- красного-зеленого
- желтого-синего.



Противоположные реакции нервных клеток он назвал соответственно «ассимиляцией» и «диссимиляцией».

Доказательства оппонентной теории цветового зрения Геринга.

- В конце 50-х гг. были получены данные *Г. Светихина* при изучении сетчатки рыб.
- *Р.де Валуа* исследовал реакции нейронов на цветовые стимулы в НКТ макаки.
- В свете этой гипотезы *G.Verriest* предложил выделять четвертый вид цветослепоты – **тетаранопию**, при ней нарушается цветовосприятие преимущественно желтого и



Зонная теория Криса.

- Существует 3 типа колбочек: красные, зеленые, синие.
- Принцип пар оппонентных цветов действует на второй ступени переработки информации – биполярах, ганглиозных клетках сетчатки и клетках НКТ.

Фоторецепторный потенциал

Если микроэлектрод расположен на поверхности или внутри одиночного фоторецептора при полной темноте, то он регистрирует относительно большой электрический ток, протекающий через клеточную мембрану («темновой ток»), который составляет от -20 до -40 мВ. При освещении фоторецептора возникает гиперполяризация, т.е. увеличение электроотрицательности до -60 мВ

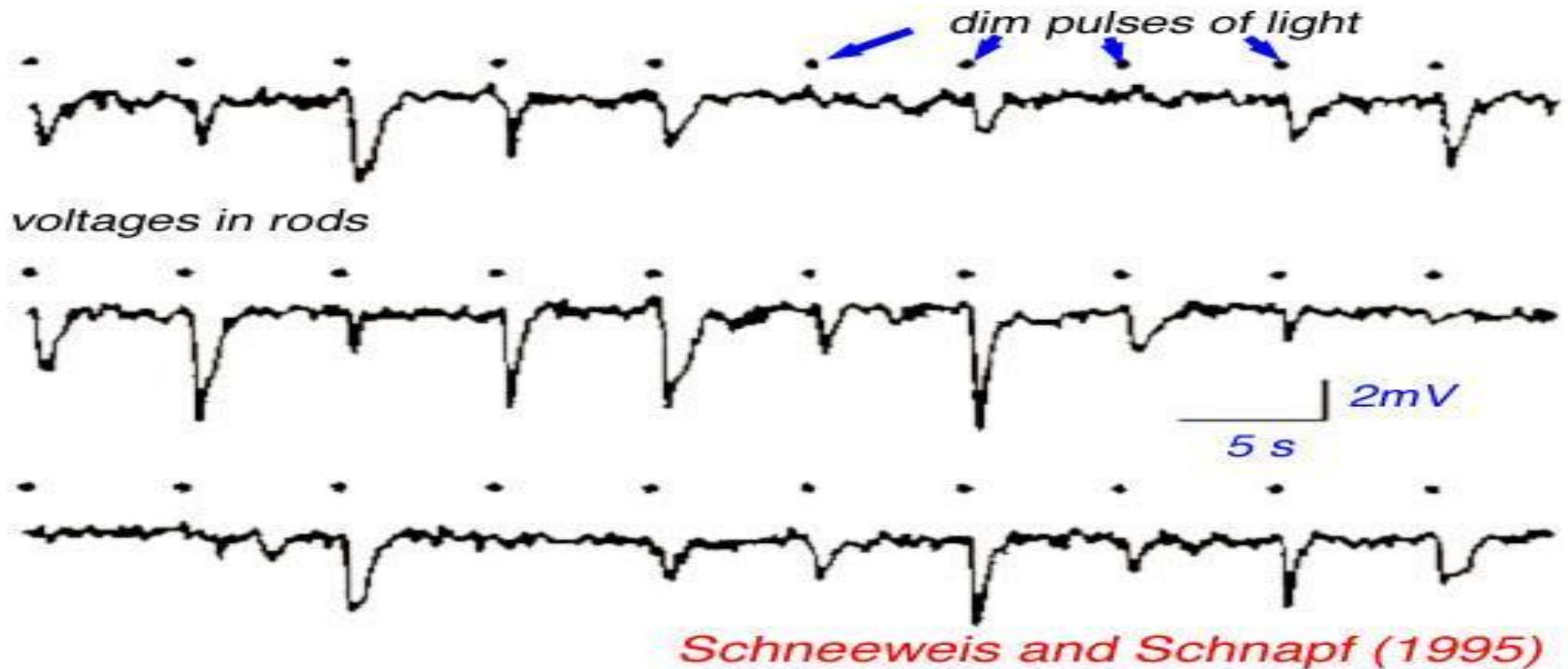


Fig. 22. Photovoltages recorded in monkey rods.

Это особенность фоторецепторов!!! Когда на адекватный стимул возникает не деполяризация, а гиперполяризация!

D. M. Schneeweis и J. L. Schnapf (1995) сняли электрические записи ответов от одиночных L и M колбочек обезьяны в зависимости от разных длин волн стимулируемого света. Уравненные по интенсивности красный и зеленый стимул вызывают различную по динамике проявления ответную реакцию колбочек. Оба ответа проявляются как вызванные пики гиперполяризации на воздействие короткой вспышки света с определенной длиной волны, однако в ответе M колбочек после начального пика гиперполяризации наблюдается длительная медленная следовая фаза, которая отсутствует у L колбочек. Похожие электрические сигналы были записаны от колбочек в сетчатке кошки (Nelson, 1978).

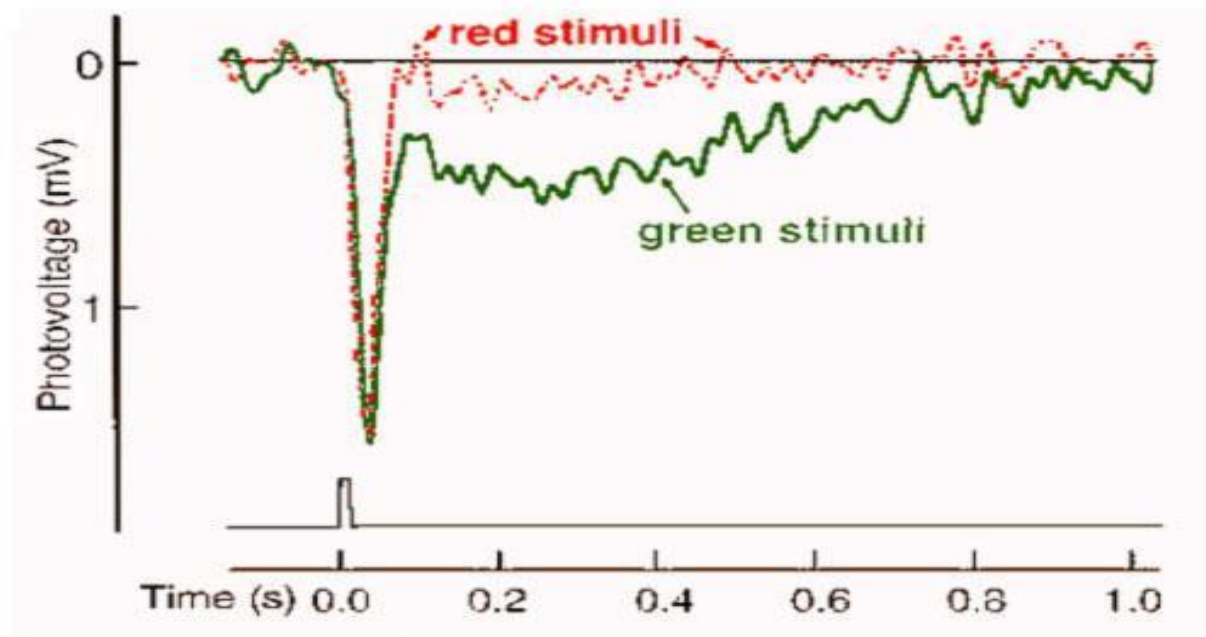


Fig. 30. Voltage recording from monkey cone with balanced red and

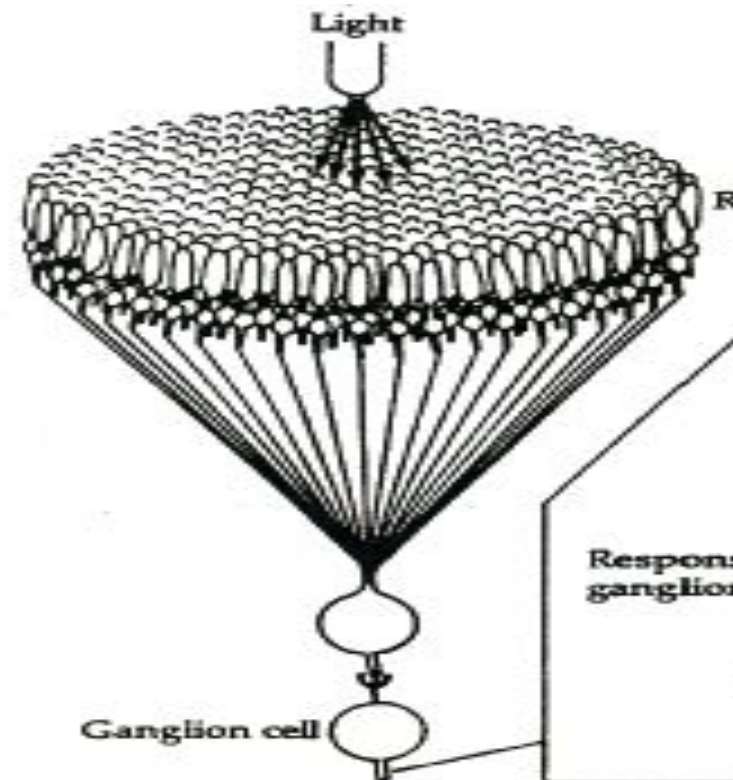
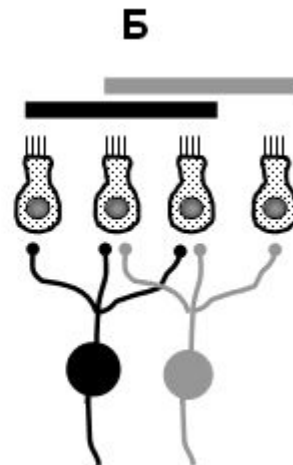
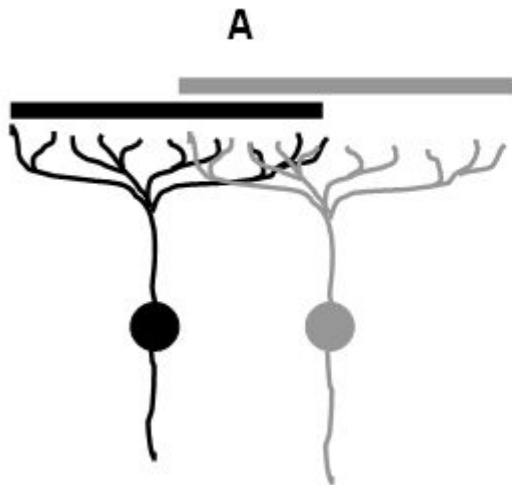
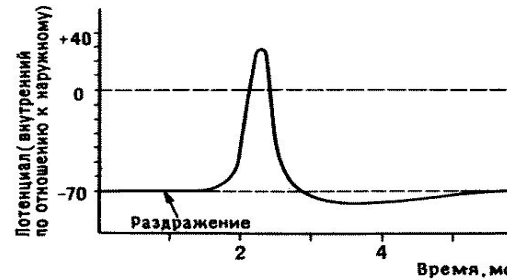
Рецептивная единица (рецептивное поле)

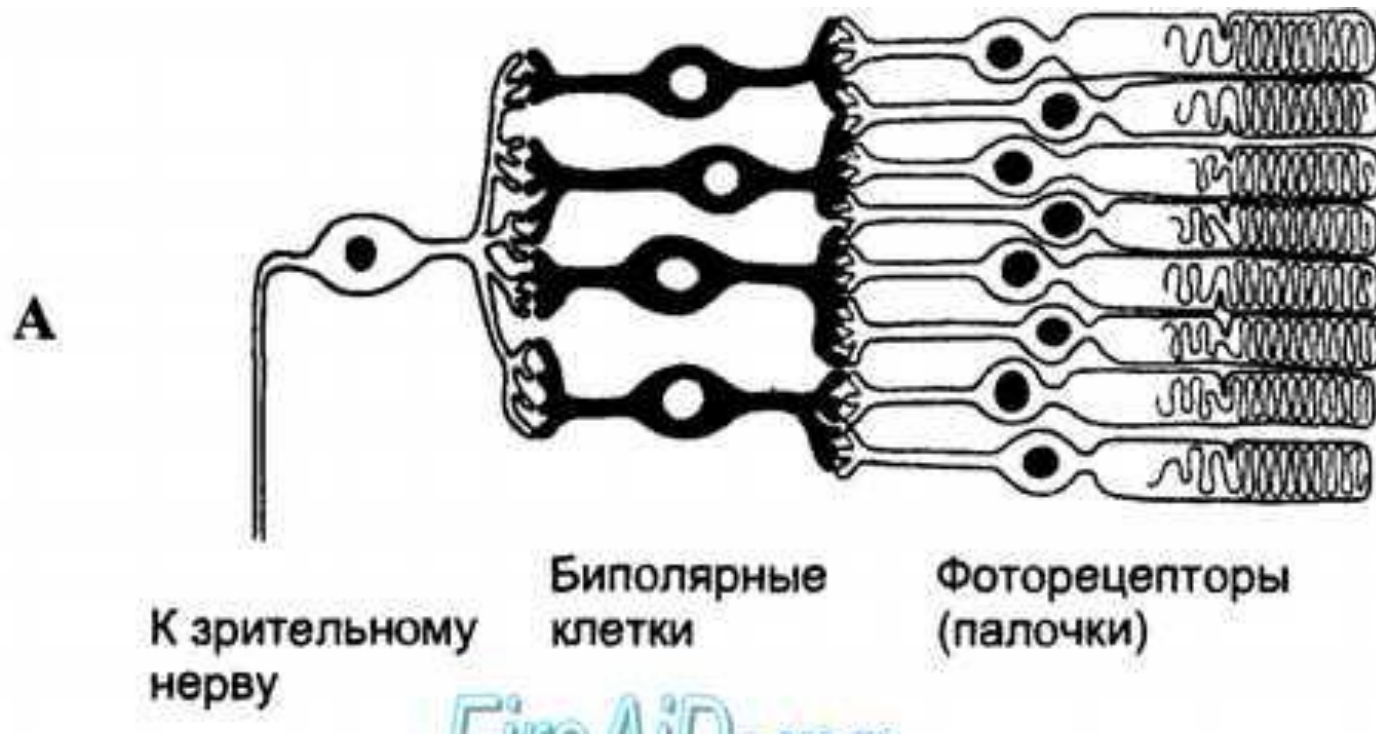
- это совокупность афферентных нейронных элементов, которые воздействуют на данную нервную клетку сенсорной системы.

Рецептивная единица ганглиозной клетки сетчатки состоит из всех тех рецепторов, биполярных, горизонтальных, амакриновых клеток, которые прямо или косвенно связаны с этой ганглиозной клеткой. Рецептивная единица ганглиозной клетки охватывает большую область сетчатки.

Рецептивные поля соседних ганглиозных клеток могут перекрываться!

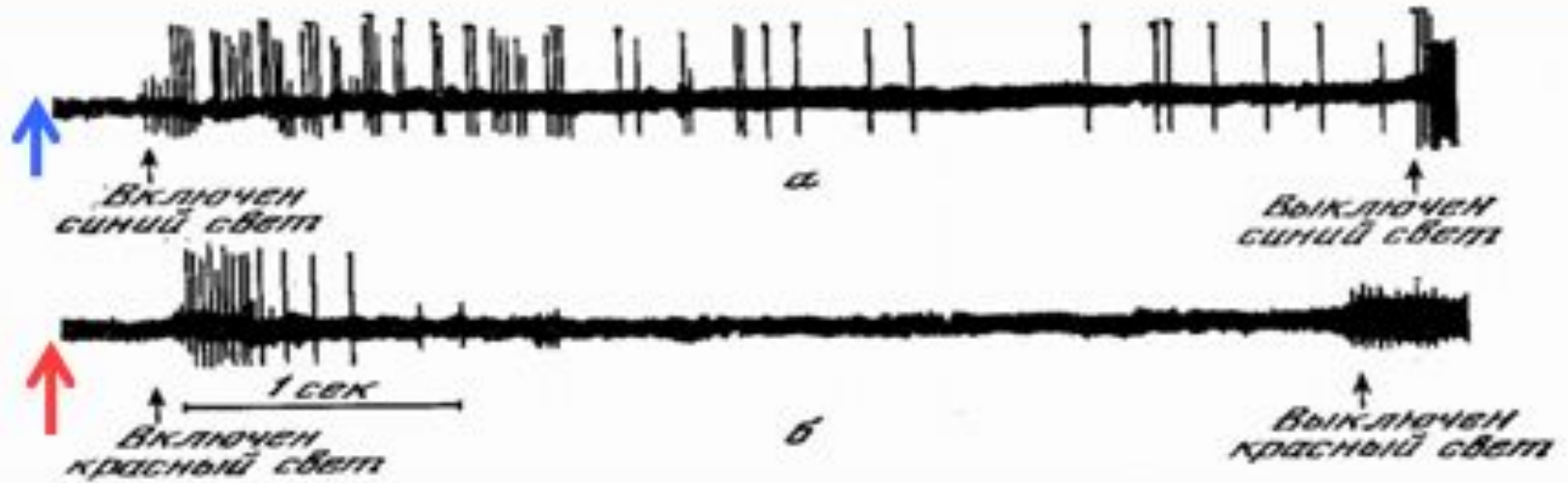
Мембрана ганглиозных клеток уже способна генерировать потенциалы действия на адекватный стимул.





Величина рецептивных полей растет от области центральной ямки к самому краю сетчатки. Данные, полученные на ганглиозных клетках сетчатки обезьяны, показывают, что центры рецептивных полей ганглиозных клеток в фовеальной области имеют в диаметре несколько угловых минут и увеличиваются по мере возрастания эксцентриситета. На периферии сетчатки центры РП ганглиозных клеток достигают до нескольких угловых градусов.

Нервные импульсы ганглиозных клеток



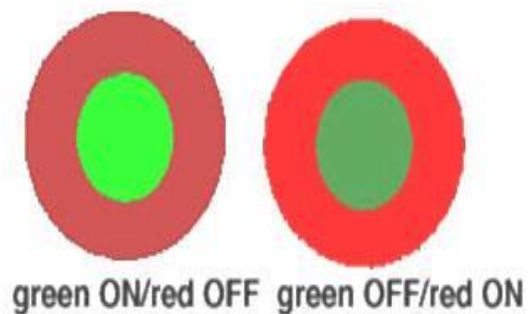
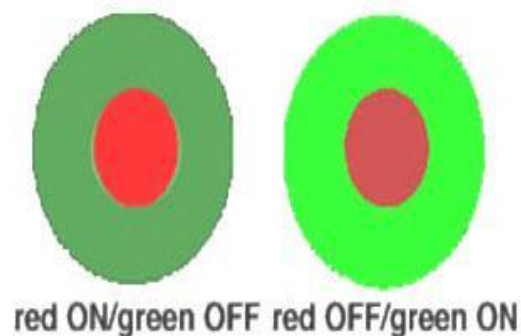
Либерман, 1985

Оказалось, что информация о цвете содержится также в сериях нервных импульсов у части ганглиозных клеток. Цвет сигнала можно было определить, глядя только на нервные импульсы, которые микроэлектрод отводит через усилитель на экран электронного осциллографа от одиночной клетки такого типа в сетчатке лягушки. «Красные» серии были всегда значительно короче «синих» (Либерман, 1982).

Ганглиозные клетки с оппонентной цветовой организацией бывают:

- Красный центр «on»-зеленый периферия «off»
- Красный центр «off»-зеленый периферия «on»
- Зеленый центр «on»-красный периферия «off»
- Зеленый центр «off»-красный периферия «on»
- Синий центр «on»-желтый периферия «off»
- Желтый центр «on»-синий периферия «off»

Color opponent ganglion cells



blue ON/yellow OFF

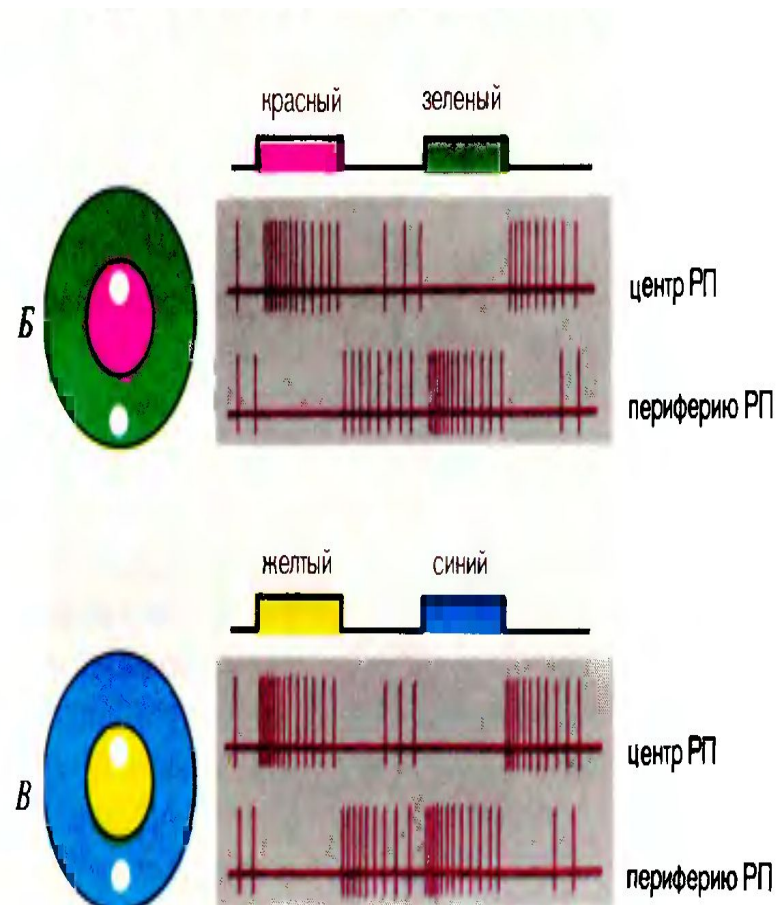
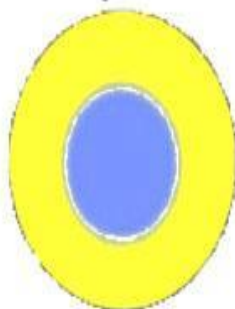


Fig. 19. Color-opponent units as recorded in monkey retina by Gouras (1968).

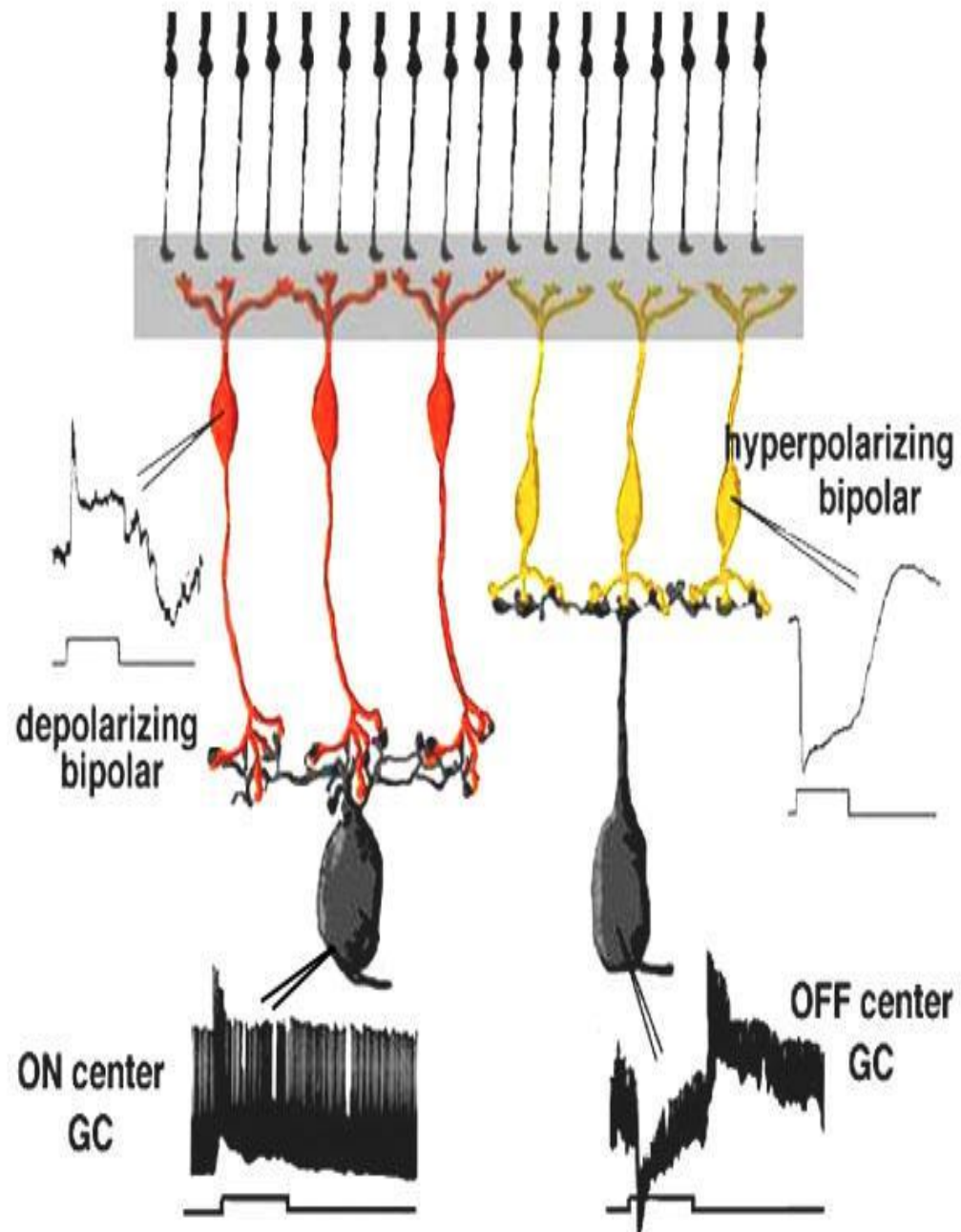


Fig. 9. Circuits concerning brightness (left) and darkness (right) processing through the retina.

Конвергенция информации

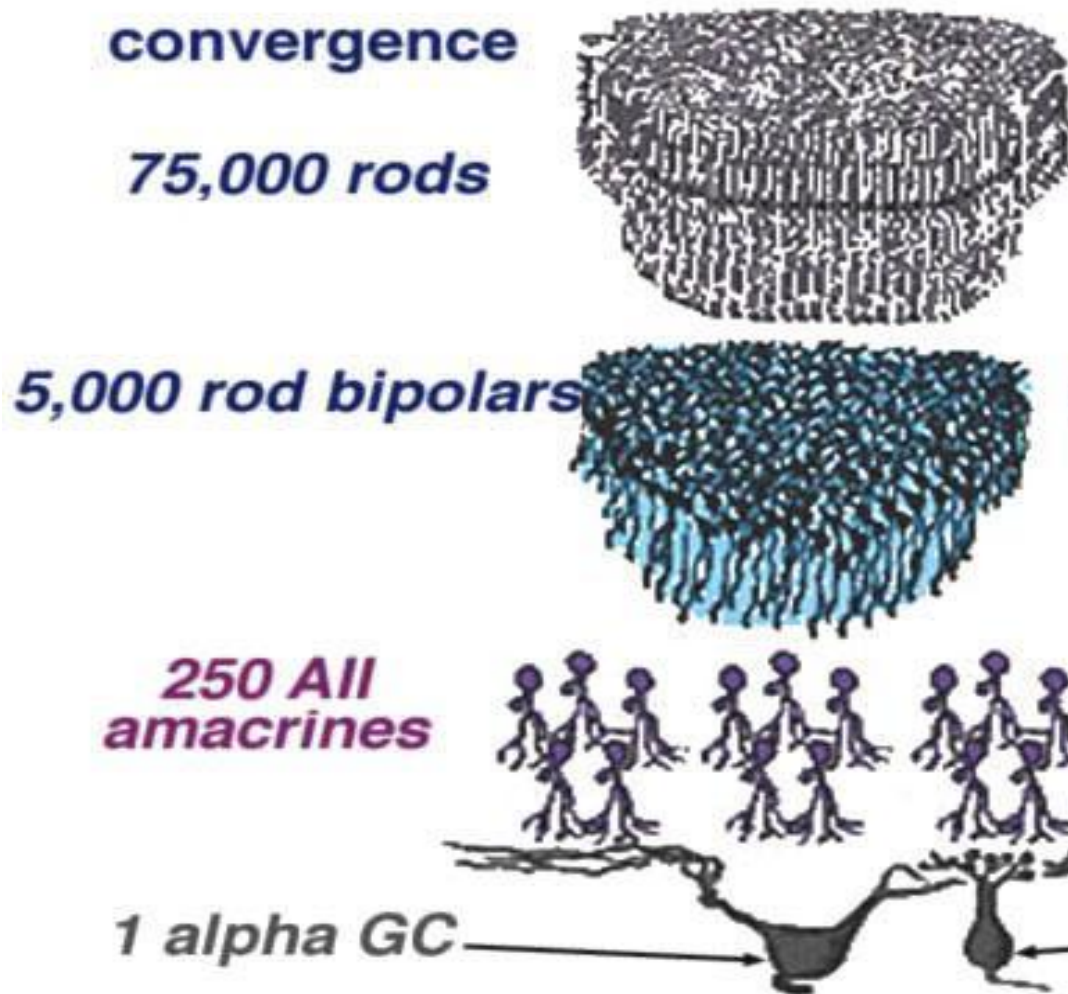


Fig. 16. Convergence of rods, rod bipolar and All amacrine cells of cat retina.

2 канала обработки информации: черно-белый и цветной

Характерным для ганглиозных клеток являются не только описанные выше общие особенности их рецептивных полей, но и то, что они существуют в двух видах, известных как *P*-клетки и *M*-клетки. Эти виды отличаются друг от друга количеством, скоростью реакции на нейронные сигналы, величиной своих рецептивных полей и своим местоположением. Важно знать, чем клетки одного типа отличаются от клеток другого типа, ибо они обрабатывают информацию разного характера, поступающую извне, и передают ее в разные участки ЛКТ. Наиболее многочисленные ганглиозные клетки — ***P*-клетки** (название дано по первой букве латинского слова *parvus*, что значит «маленький») — малоактивны и при стимулировании реагируют медленно, с некоторым индукционным периодом. Они также имеют маленькие рецептивные поля, организованные по концентрическому принципу, и в соответствии с этим реагируют на определенные, мелкие детали стабильного стимула. В соответствии с обработкой информации от мелких деталей стимула, *P*-клетки соединяются нейронной связью с центральной ямкой (участком сетчатки, ответственным за остроту зрения); они также участвуют в обработке информации о цвете.

В отличие от *P*-клеток *M*-клетки (название дано по первой букве латинского слова *magnus*, что значит «большой») реагируют быстро и коротечно: при возбуждении они демонстрируют короткий выброс активности и быстро «затухают». По сравнению с *P*-клетками *M*-клетки имеют большие рецептивные поля, организованные по концентрическому принципу, и вследствие этого их роль в различении мелких деталей сравнительно невелика. Этот вывод согласуется с наблюдением, суть которого заключается в том, что клетки с большими рецепторными полями слабо воспринимают незначительную, но вполне определенную разницу между стимулами. А это значит, что они менее эффективны при выполнении тонкой работы и заданий, требующих остроты зрения и выявления небольших отличий между предметами. Подобное наблюдение согласуется с данными о том, что *M*-клетки концентрируются на периферии сетчатки и не связаны с центральной ямкой. Быстро затухающий выброс активности, свойственный *M*-клеткам, позволяет предположить, что их основное назначение — реагировать на движение. Итак, складывается такое впечатление, что *P*-клетки «специализируются» на тонком анализе неподвижных объектов и связи их признаков между собой, а *M*-клетки — на детектировании движения.

Свойства парвоцеллюлярных и магноцеллюлярных клеток

Свойство	Парвоцеллюлярные	Магноцеллюлярные
Реагирует на цвет	Да	Нет
Реагирует на мелкие детали	Да	Нет
Величина рецептивного поля	Маленькое	Большое
Чувствительность к нерезкому контрасту	Низкая	Высокая
Чувствительность к резкому контрасту	Высокая	Низкая
Скорость реакции	Невысокая, реакция замедленная	Большая, реакция мгновенная
Сигнал от сетчатки	От <i>P</i> -клеток	От <i>M</i> -клеток
Возможные функции	Цветное зрение, острота зрения	Восприятие движения и глубины

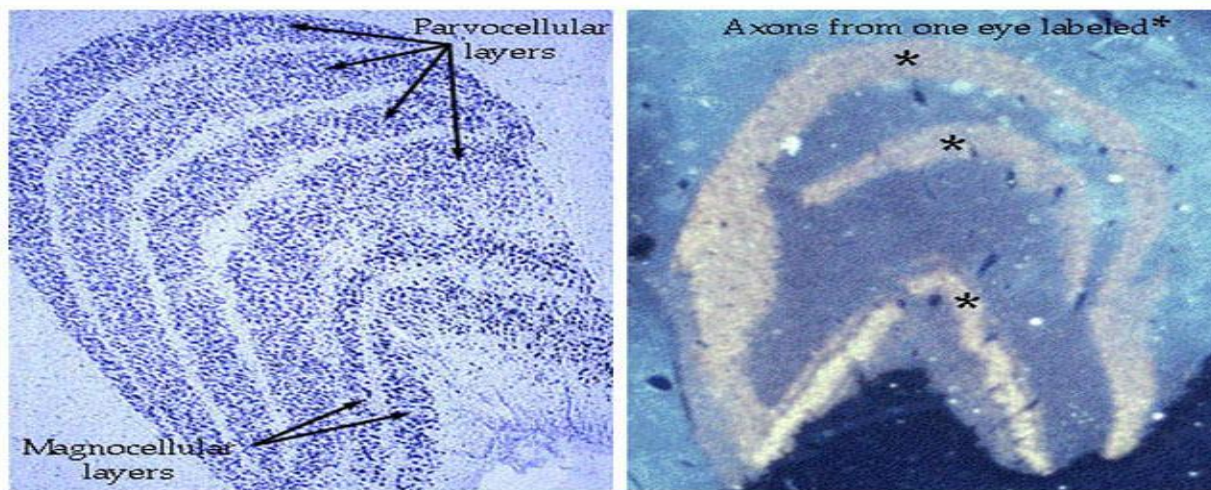


Figure 11. The projections of the small (P cells), and large (M cells) ganglion cells from the two eyes to parvocellular and magnocellular layers of the LGN respectively. Each eye projects to alternating layers as seen in the autoradiogram (right).

Эти функциональные и анатомические различия характерны для клеток ЛКТ, принадлежащих к двум разным отделам (Hubel & Livingstone, 1987; Livingstone & Hubel, 1987, 1988). К **парвоцеллюлярному** отделу относятся маленькие клетки, получающие сигналы от ретинальных ганглиозных *P*-клеток с небольшими рецептивными полями, а к **магноцеллюлярному** — большие клетки, которые получают сигналы от *M*-клеток с относительно большими рецептивными полями.

Парвоцеллюлярные клетки. Помимо способности реагировать на присутствие или отсутствие света, характерной для центра (или периферии) ее рецептивного поля, парвоцеллюлярная клетка чувствительна к изменению длины световой волны, т. е. клетки этого типа по-разному реагируют на лучи разных цветов или оттенков. Так, если центры рецептивных полей цветочувствительных клеток освещены светом определенного цвета (например, зеленого), от них можно ожидать ярко выраженной реакции, а действие противоположного цвета (в данном случае красного) их ингибирует.

Способность клеток парвоцеллюлярного типа как к восприятию мелких деталей, так и к восприятию цветов, подтверждается результатами изучения приматов, которые вследствие повреждения парвоцеллюлярного отдела утрачивали цветное зрение и возможность видеть мелкие детали (Merigan & Eskin, 1986). Как и ганглиозные Р-клетки, клетки парвоцеллюлярного типа склонны к замедленной, относительно продолжительной реакции.

Клетки парвоцеллюлярного отдела высоко развиты только у приматов, являющихся одной из очень немногих групп млекопитающих, которые имеют цветное и достаточно острое зрение. Основываясь на этом наблюдении, Ливингстон и Хьюбел (Livingstone & Hubel, 1988) высказали предположение о том, что у млекопитающих клетки парвоцеллюлярного типа, возможно, появились на более поздних ступенях эволюционного развития, чем магноцеллюлярные клетки.



Движения глаз

Движения глаз могут быть классифицированы по различным основаниям.

Существует деление на

1) быстрые движения глаз:

- [саккады](#),
- [тремор](#)
- [дрейф](#),

2) медленные:

- медленное прослеживание
- вергентные движения глаз.

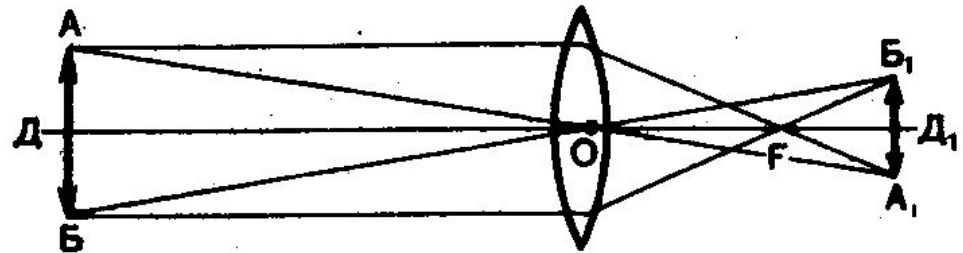
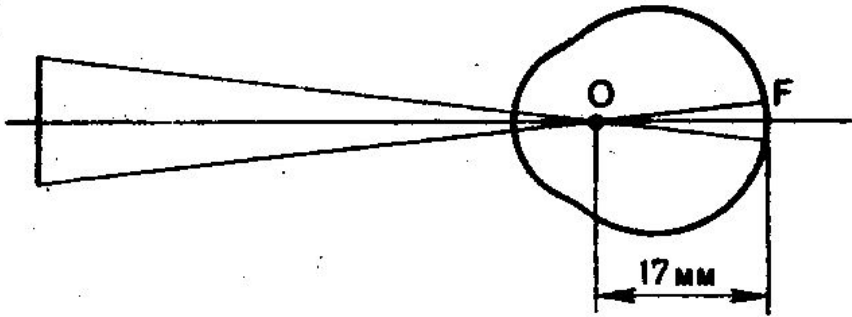
Другие авторы разделяют движения глаз на

- согласованные (саккады)
- несогласованные (вергентные движения глаз, [тремор](#) и [дрейф](#)).

Окулограмма — метод
регистрации быстрых
движений глаз



Формирование изображения на сетчатке



F – фокус, точка схождения после преломления параллельно падающих лучей

O - узловая точка, через нее лучи проходят без преломления

Фокусное расстояние – расстояние от центра линзы (O) до фокуса

Линза с преломляющей способностью в 1 диоптрию обладает фокусным расстоянием 1 м

Преломляющая сила глаза равна

$$1/F \text{ (фокусное расстояние)} = 1/0,017 = 59D$$

Способность глаза приспосабливаться к восприятию света разной яркости носит название **зрительной адаптации**. Расстройство темновой адаптации выражается в снижении способности ориентироваться в пространстве при недостаточной освещенности, вплоть до утраты возможности к передвижению. Это состояние называется **гемералопией («куриная слепота»)**. Гемералопия может возникнуть при гиповитаминозе А, в результате инфекционных болезней, плохого питания и др. **Световая адаптация** – это приспособление органа зрения к высокому уровню освещенности, протекающее достаточно быстро (50–60 сек). Так, если человек входит из темноты в ярко освещённую комнату, у него возникает временное ослепление, которое быстро проходит. Люди с нарушенной световой адаптацией лучше видят в сумерках, чем на свету.



За счет **оптической системы глаза** есть возможность четкой фокусировки изображения на сетчатке, т.е. аккомодации.

Оптическая система глаза состоит из

- роговицы,
 - хрусталика и
 - стекловидного тела,
- но аккомодационная функция глаза зависит, главным образом, от роговицы и хрусталика.

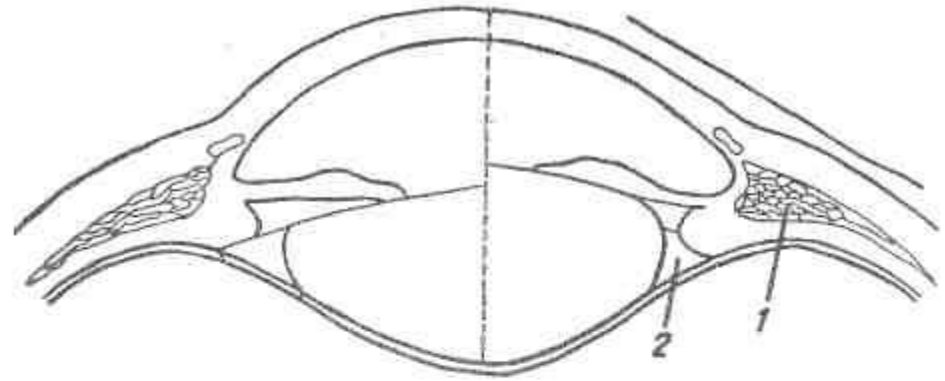


Рис. 87. Механизм аккомодации (по Гельмгольцу).

Левая половина глаза — хрусталик при рассматривании далекого предмета, правая — близкого предмета. Видна большая выпуклость хрусталика справа. 1 — ресничная мышца; 2 — ресничный пояс.

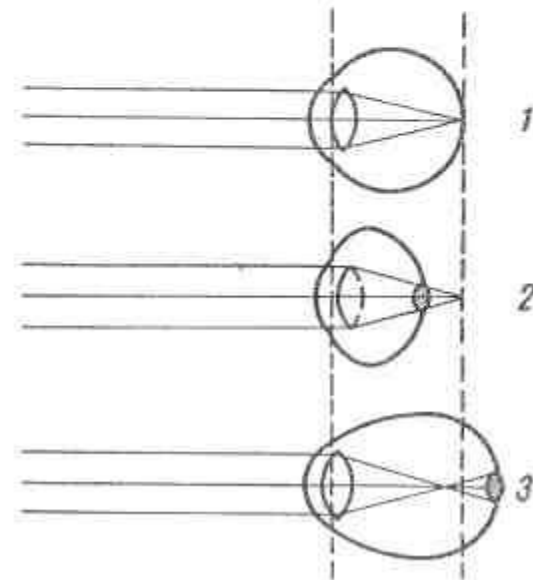


Рис. 88. Схема рефракции в норме (1), при дальнозоркости (2) и при близорукости (3).

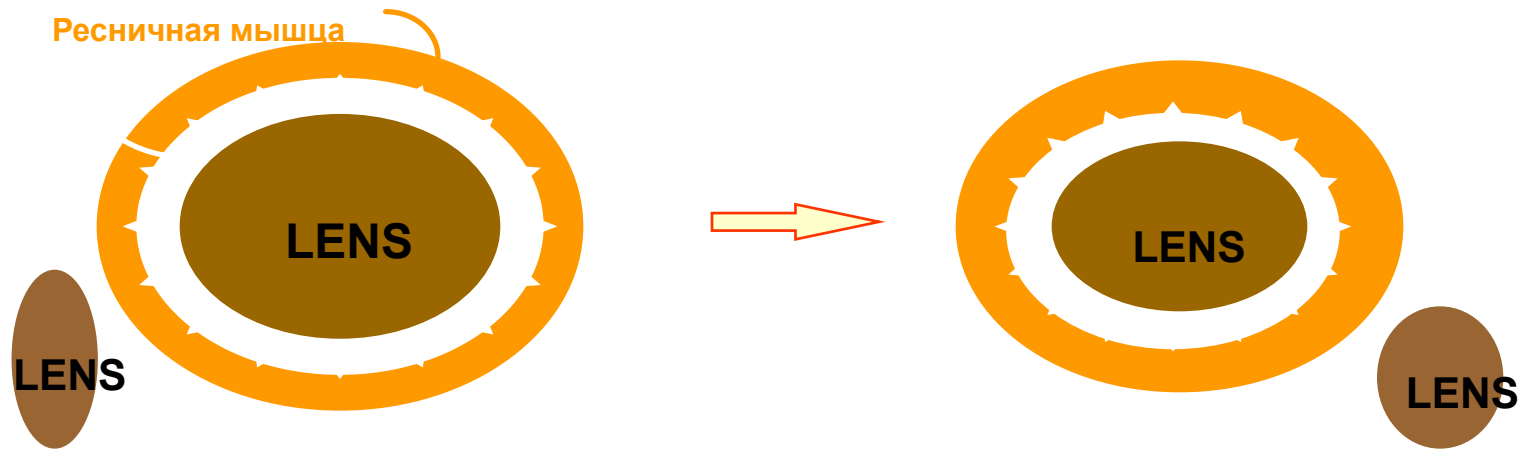
Аккомодация – это рефлекторный механизм, с помощью которого лучи света, исходящие от объекта, фокусируются на сетчатке

1. Рефлекторное изменение диаметра зрачка регулирует световой поток, увеличивая глубину резкости



Аккомодация – это рефлекторный механизм, с помощью которого лучи света, исходящие от объекта, фокусируются на сетчатке

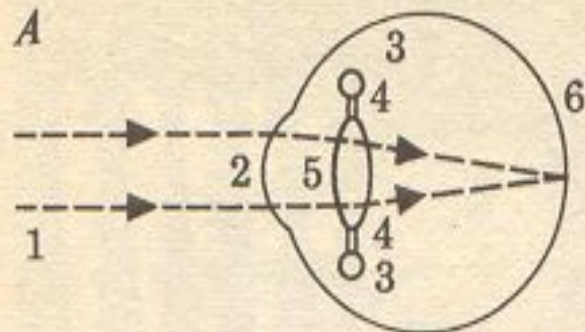
2. Рефракция (преломление) света.



Цилиарная мышца	Циннова связка	хрусталик	Преломление
сокращена	Не натянута	Более выпуклый	Усилено
расслаблена	натянута	Менее выпуклый	Ослаблено

Свет от дальнего объекта

A

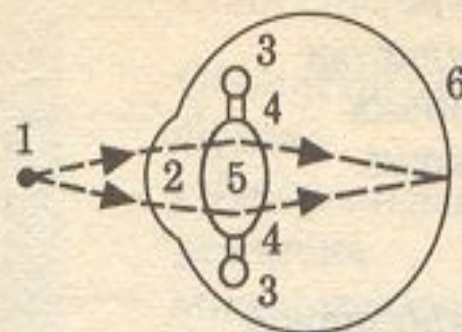


1. На глаз падают параллельные лучи
2. Роговица преломляет лучи света
3. Кольцевая мышца расслабляется
4. Циннова связка натягивается
5. Хрусталик уплощается
6. Свет фокусируется на сетчатке

Г

3

Свет от ближнего объекта

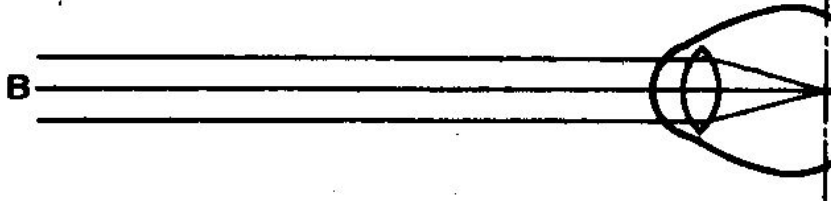


1. В глаз попадают расходящиеся лучи
2. Роговица преломляет лучи света
3. Кольцевая цилиарная мышца сокращена
4. Циннова связка расслаблена
5. Эластичный хрусталик становится более выпуклым
6. Свет фокусируется на сетчатке

3

Рефракция – преломляющая способность всего глаза в целом

Надо усилить преломление – очки с двояковыпуклой линзой



Надо уменьшить преломление – очки с двояковогнутой линзой

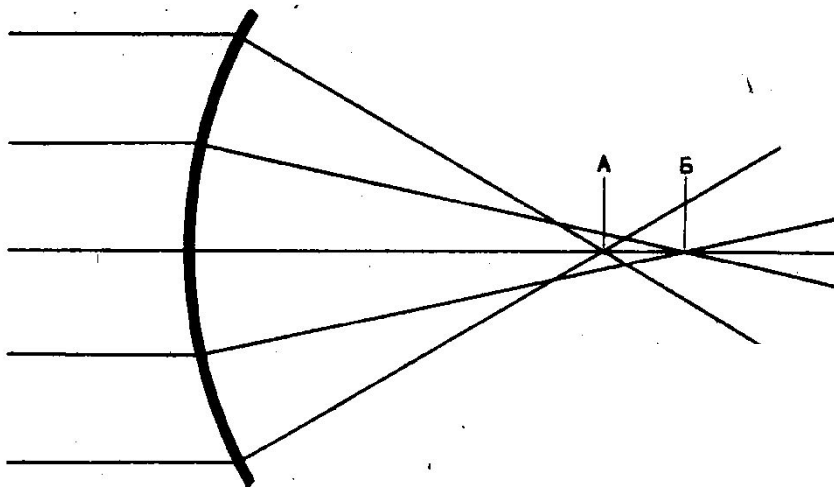
Гиперметропический глаз -
дальнозоркость

НОРМА
Эмметропический глаз

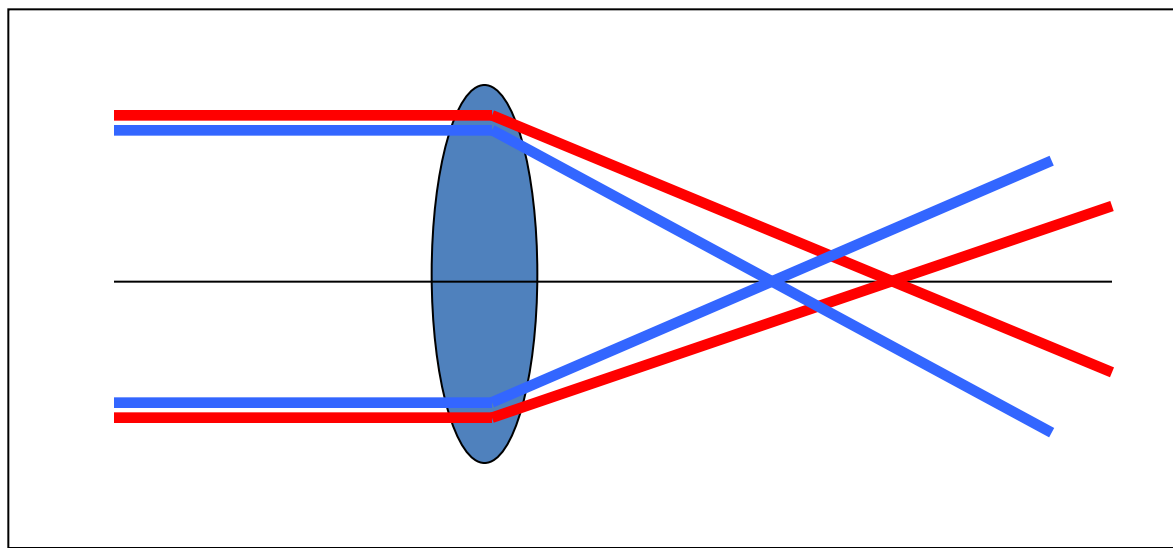
Миопический глаз -
близорукость

Астигматизм - возникает в результате
неравной кривизны преломляющих
сред в разных меридианах

Сферическая абберация

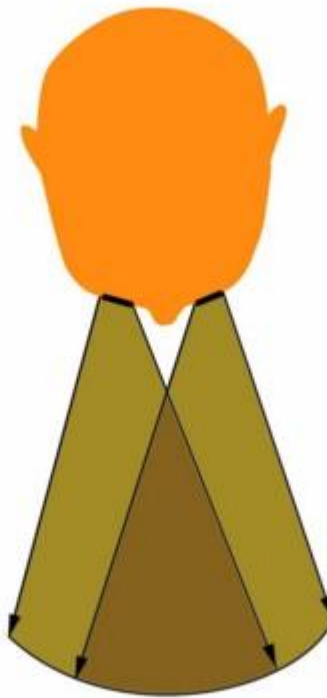


Хроматическая абберация

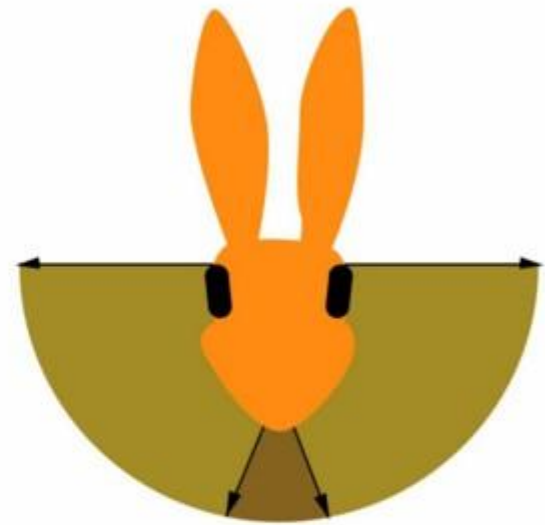




муха: 360°



человек: 56°

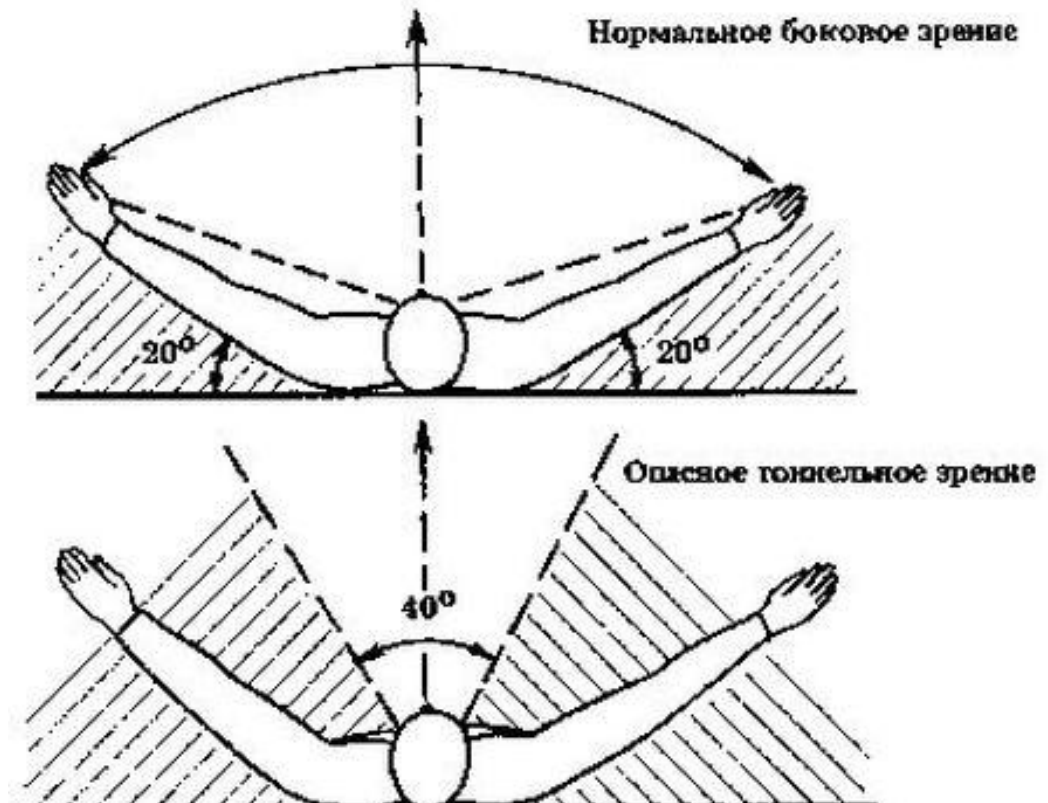


заяц: 180°

Важным условием нормального зрения является взаимодействие двух глаз, т. е. способность видеть двумя глазами одновременно, при этом воспринимая рассматриваемый объект как единое целое. Эта зрительная способность называется **бинокулярным зрением**. Оно позволяет получать объемное изображение предметов и определять их относительное расстояние от наблюдателя.

Два отдельных плоских изображения, получаемых правым и левым глазом, в корковом зрительном центре «сливаются» в одно, и формируют понятия **стереоскопичности изображения**.

Отделы сетчатки вокруг жёлтого пятна обеспечивают **периферическое, или боковое, зрение**, при котором форма предмета воспринимается менее четко. Поэтому, если центральное зрение дает возможность рассматривать мелкие детали и опознавать предметы, то периферическое зрение является очень важной функцией, расширяющей возможности свободной ориентации в пространстве. Оно определяется полем зрения, которое охватывается одновременно фиксированным глазом. Без периферического зрения человек практически слеп, он не может передвигаться без посторонней помощи.



Поле зрения у детей несколько меньше, чем у взрослых, что, является одной из причин повышенной частоты дорожно-транспортных происшествий с детьми.

Значительное концентрическое сужение поля зрения происходит при **пигментной дистрофии сетчатки** и **глаукоме** (так называемое «**трубочное зрение**»). Встречаются изменения поля зрения, связанные с частичным его выпадением в центре или на периферии сетчатки глаза (**скотомы**). Наличие в поле зрения небольших скотом ведёт к возникновению теней, пятен, кругов, овалов, дуг, осложняя восприятие предметов, затрудняя чтение и письмо. Последнее становится невозможным при обширных двусторонних скотомах.

