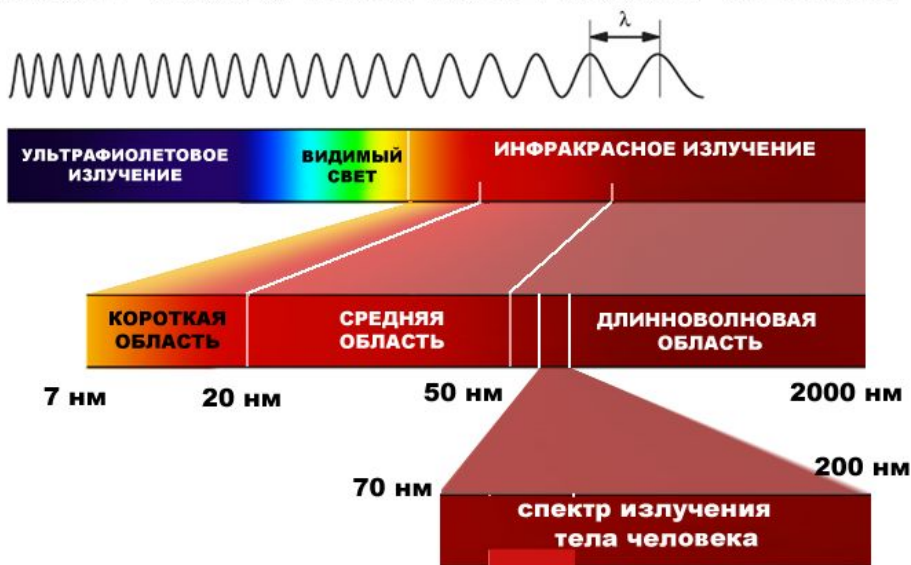
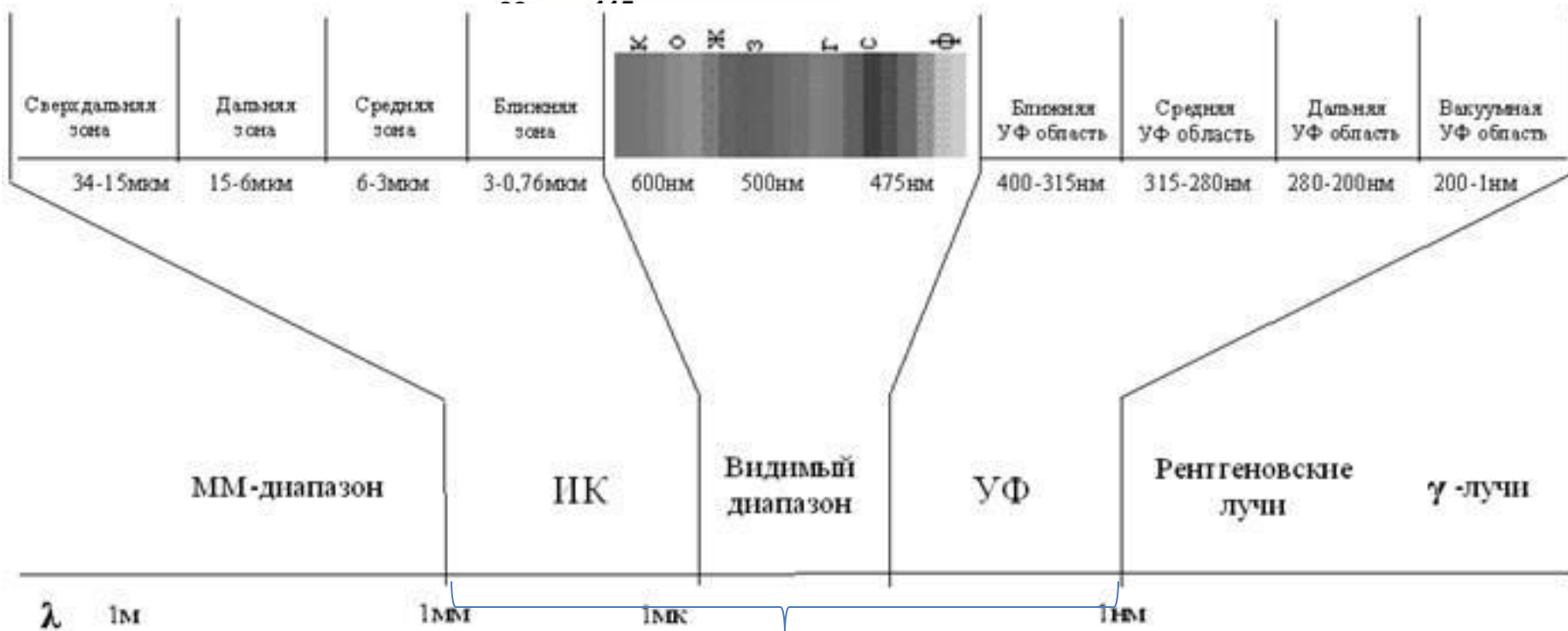


ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



По международной комиссии по освещению (МКО):

УФ	λ , нм	ИК	λ , нм
УФ-А	315-400	ИК-А	780-1400
УФ-В	280-315	ИК-В	1400-3000
УФ-С	100-280	ИК-С	3 мкм-1 мм

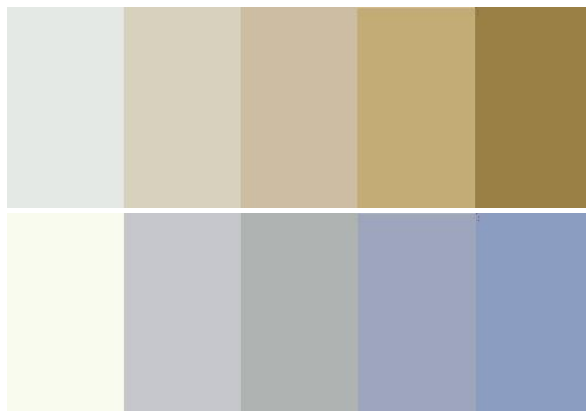
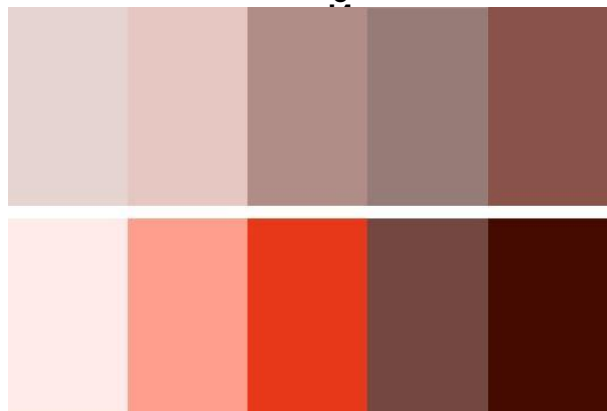


Оптический

Свет

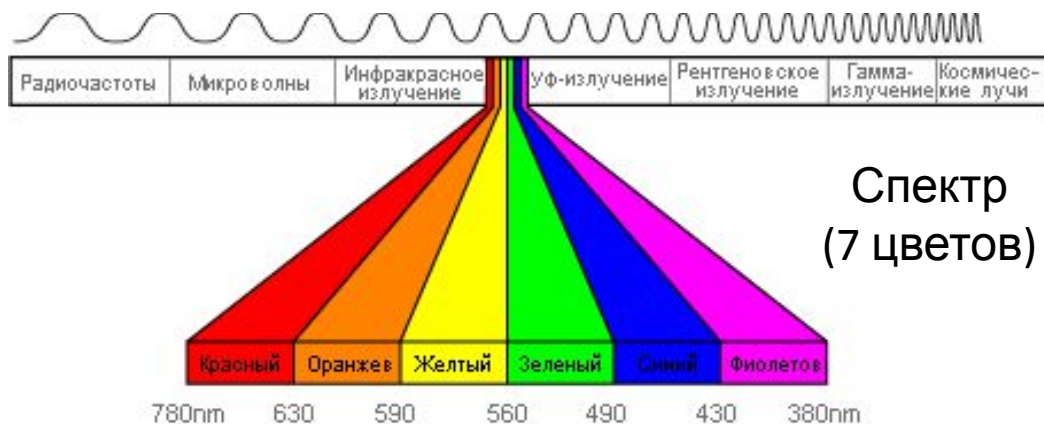
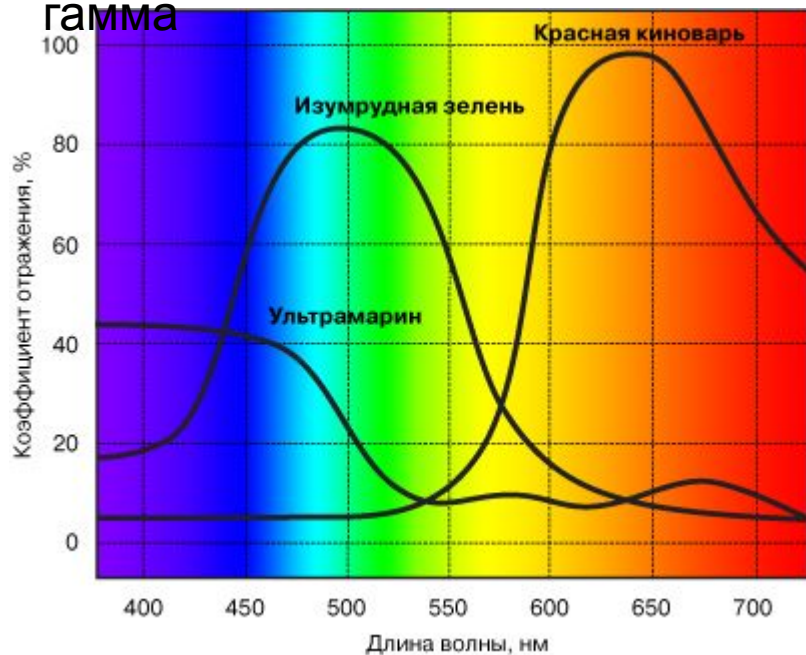
Монохроматический (комбинации яркости и насыщенности в пределах одного и того же цвета – нюанс цвета)

Сложны



Монохроматическая гамма

Нюансы цвета



Спектр (7 цветов)

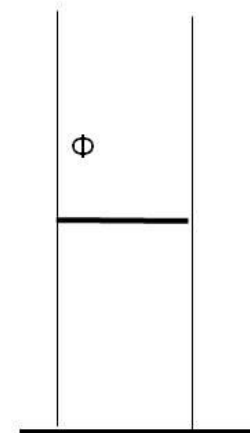
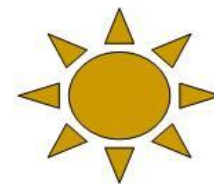


Цветовой круг (8 цветов)

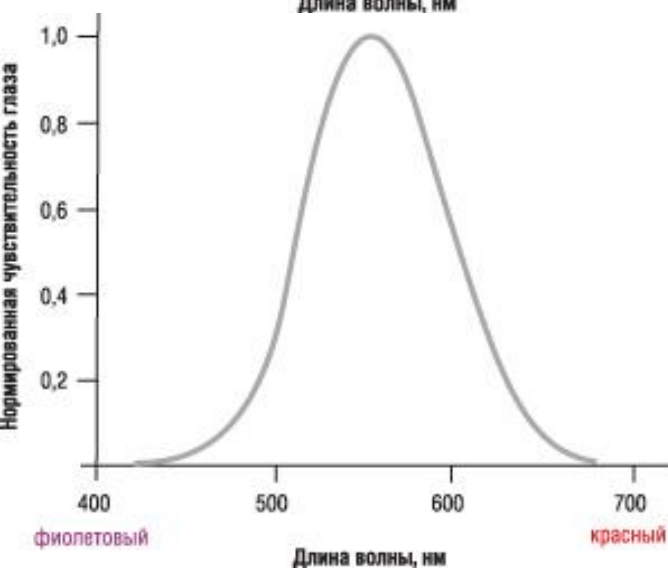
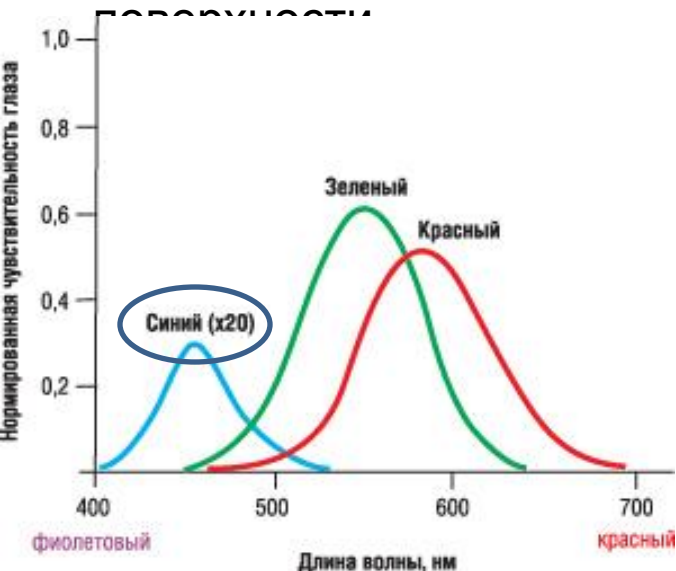
Пурпурны

Физические параметры, характеризующие свет

1. **Световой поток.** Нужно описывать перемещение энергии: энергия, попадаемая со светом на единицу



$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad [1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт} = 1 \text{ Лм}]$$



Световой поток некоторых источников света

Источник	Световой поток, люмен	лм/ватт
Лампа накаливания 40 Вт	415...460	10
Лампа накаливания 60 Вт	790...830	13
Лампа накаливания 100 Вт	1550...1630	15
Лампа накаливания 200 Вт	2860...2960	15
Газоразрядная лампа 35 Вт (HID)	3000...3400	93
Светодиод Cree XP-G 5 Вт	460...493	92 (до 130)
Светодиод P7 SSC 10 Вт	около 700	70
Светодиод Cree MC-E 10 Вт	около 770	77
Люминесцентная лампа 40 Вт	2480	62
Люминесцентная лампа (840; GE Polylux XLR) 36 Вт	3350	93
Солнце	$3,8 \cdot 10^{28}$	99

2. Телесный угол

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

Если $S = r^2$ такой угол 1 Ср

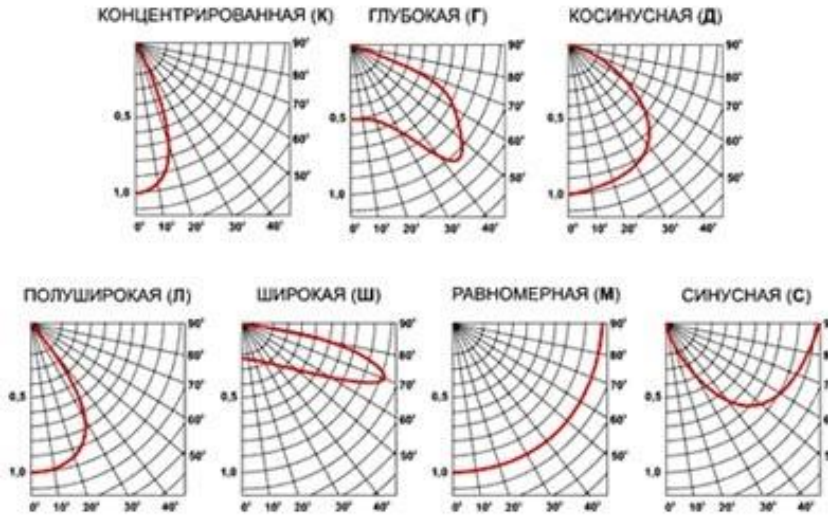
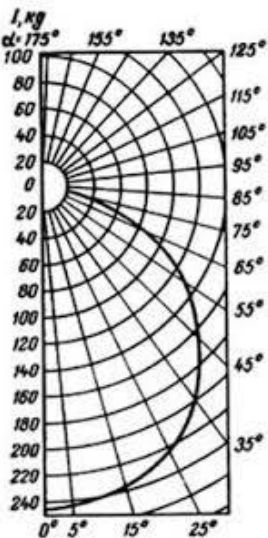
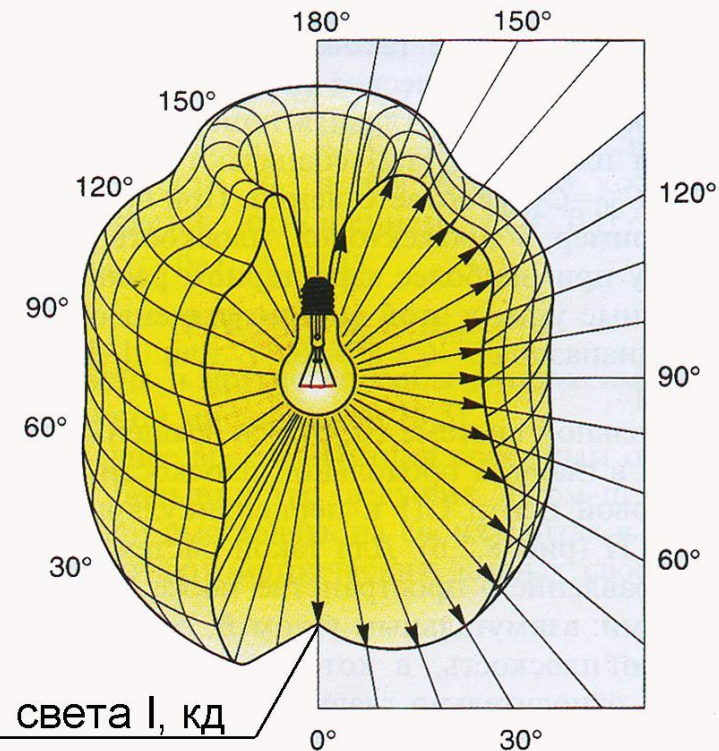
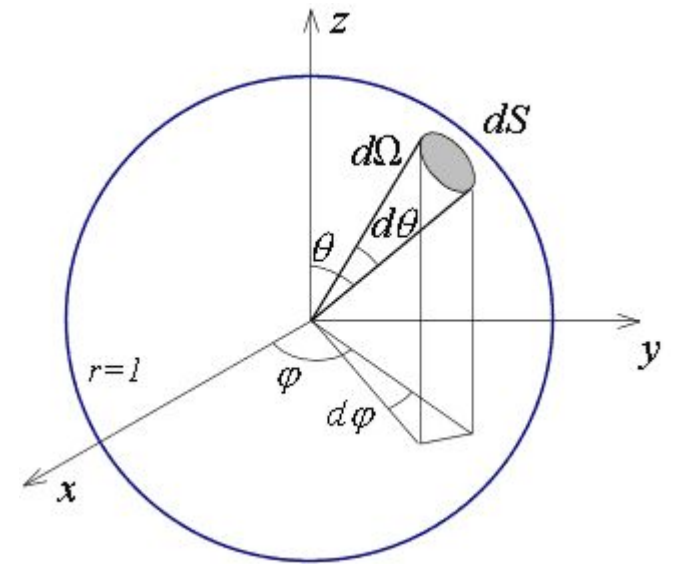
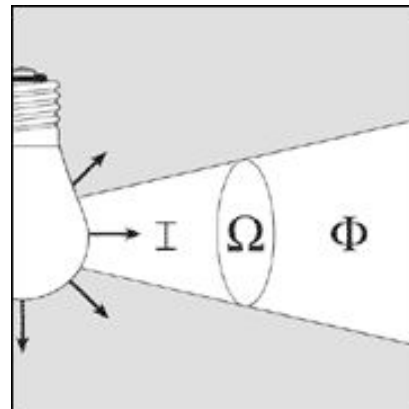
Для всей сферы:

$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{ Ср}$$

3. Сила света

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad [1 \text{ Кд} = 1 \text{ Лм} / 1 \text{ Ср}]$$

$I = f(\varphi)$ –
фотометрическое тело света



4.

Освещенность

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

$$[1 \text{ Лк} = 1 \text{ Лм/м}^2]$$

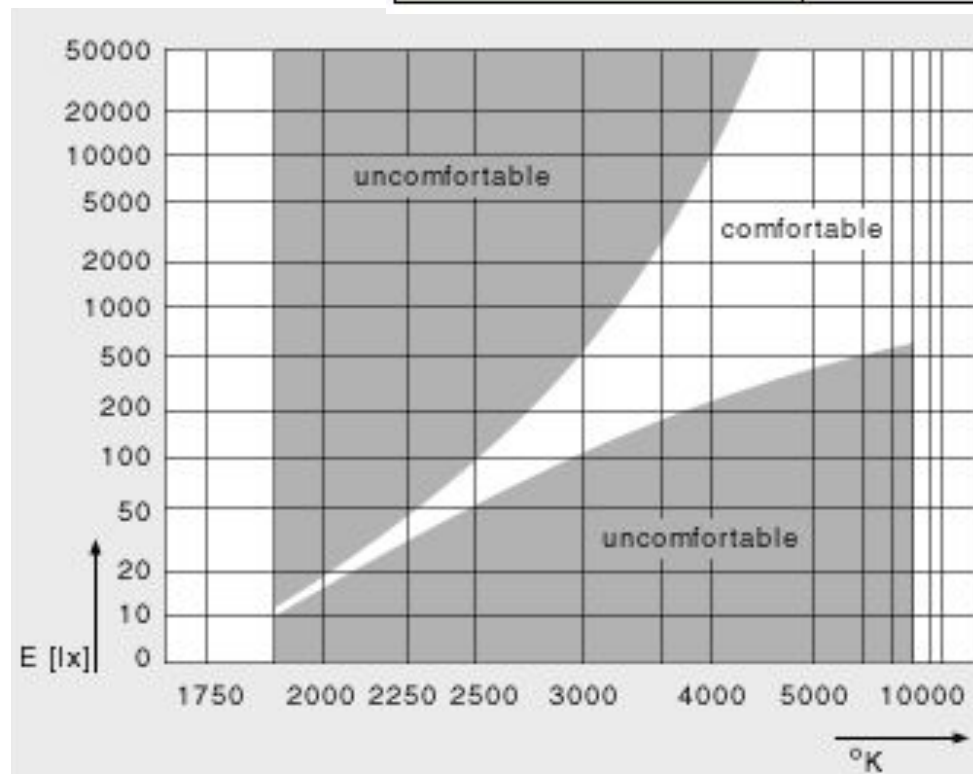


Освещение окружения...	Освещение окружения (лк)
Безлунная ночь	0.1 лк
Лунная ночь	1 лк
Темная комната	10 лк
Облачный день / Ярко освещённая комната	100 лк
Солнечный день	1000 лк

Восприятие освещенности регулируется диаметром зрачка

Освещенность (Лк) от световой температуры (К)

Кривая Круитхофа – свет лампочки с цветовой температурой 2700К, обеспечивающей освещенность в 200 Лк, скорее всего будет приятен. Но если выбрать лампу в 2 раза мощнее, то ее свет, скорее всего, будет раздражать и казаться слишком желтым.

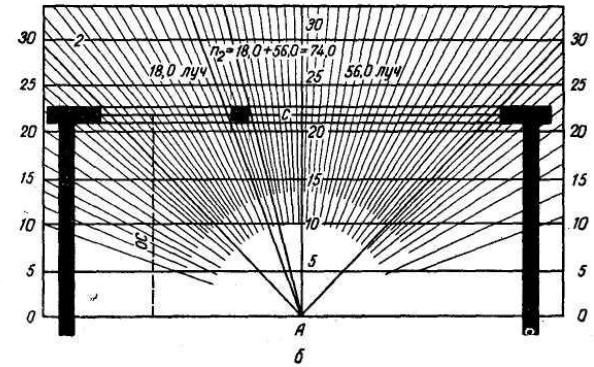
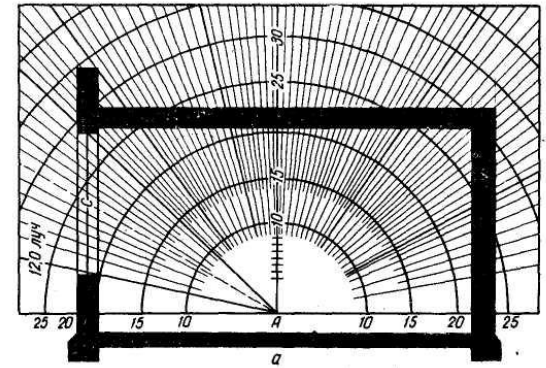
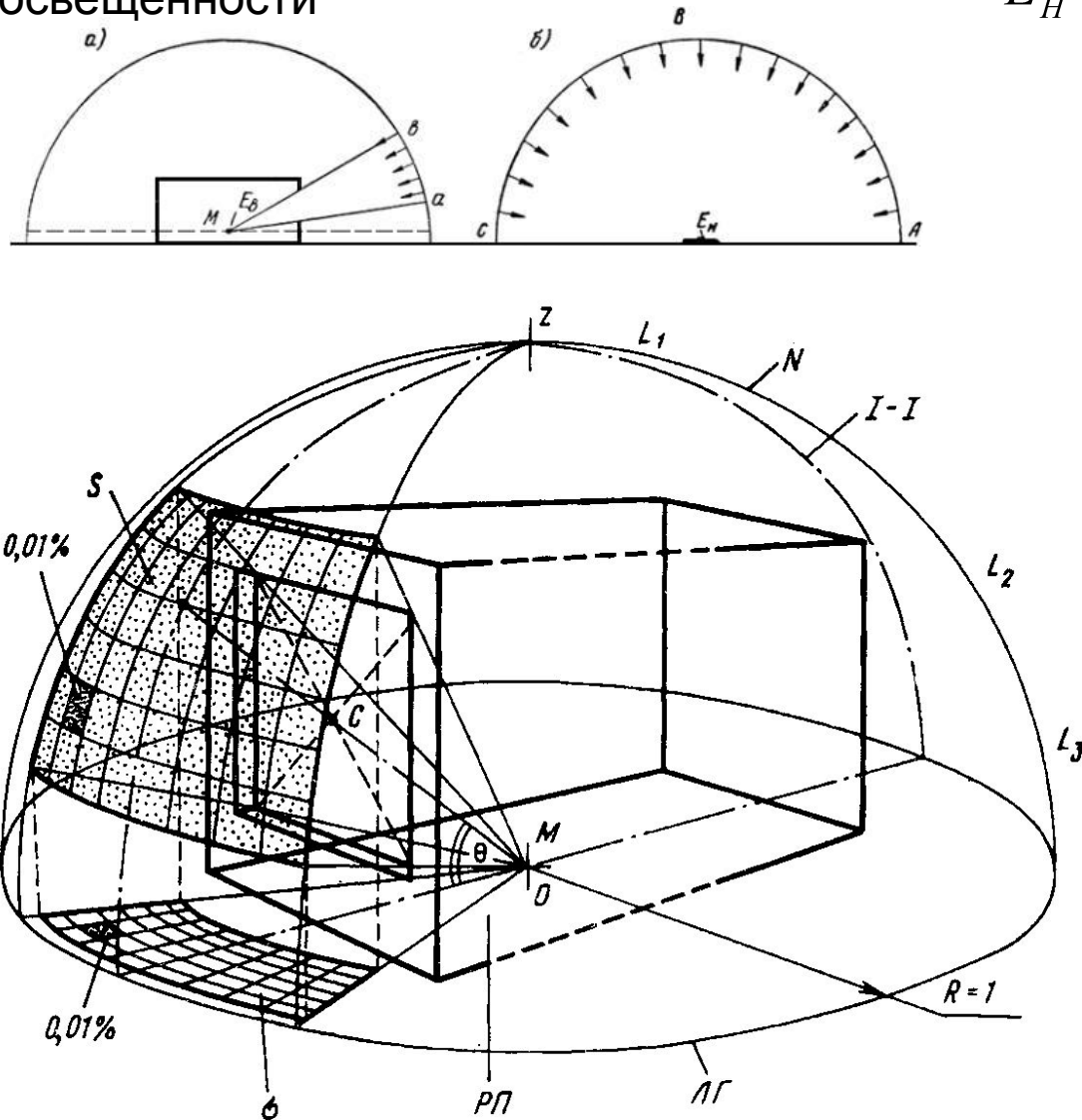
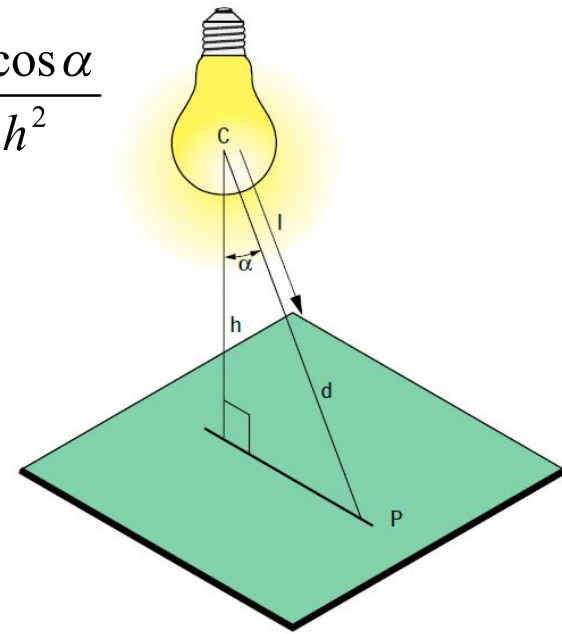


Освещенность, создаваемая точечным источником света в точке Р:

Коэффициент естественной освещенности

$$e = \frac{E_M}{E_H} \cdot 100\%$$

$$E = \frac{I \cos \alpha}{h^2}$$



5.

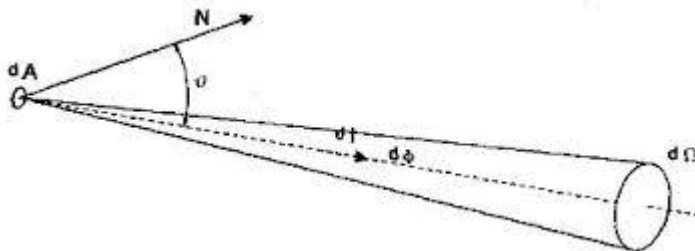
Яркость
[Кд/м²]

Яркость
источника
света
Яркость
освещенной
поверхности

Яркость – непосредственно
воспринимается глазом, это сила света
на единицу поверхности (телесного
угла)

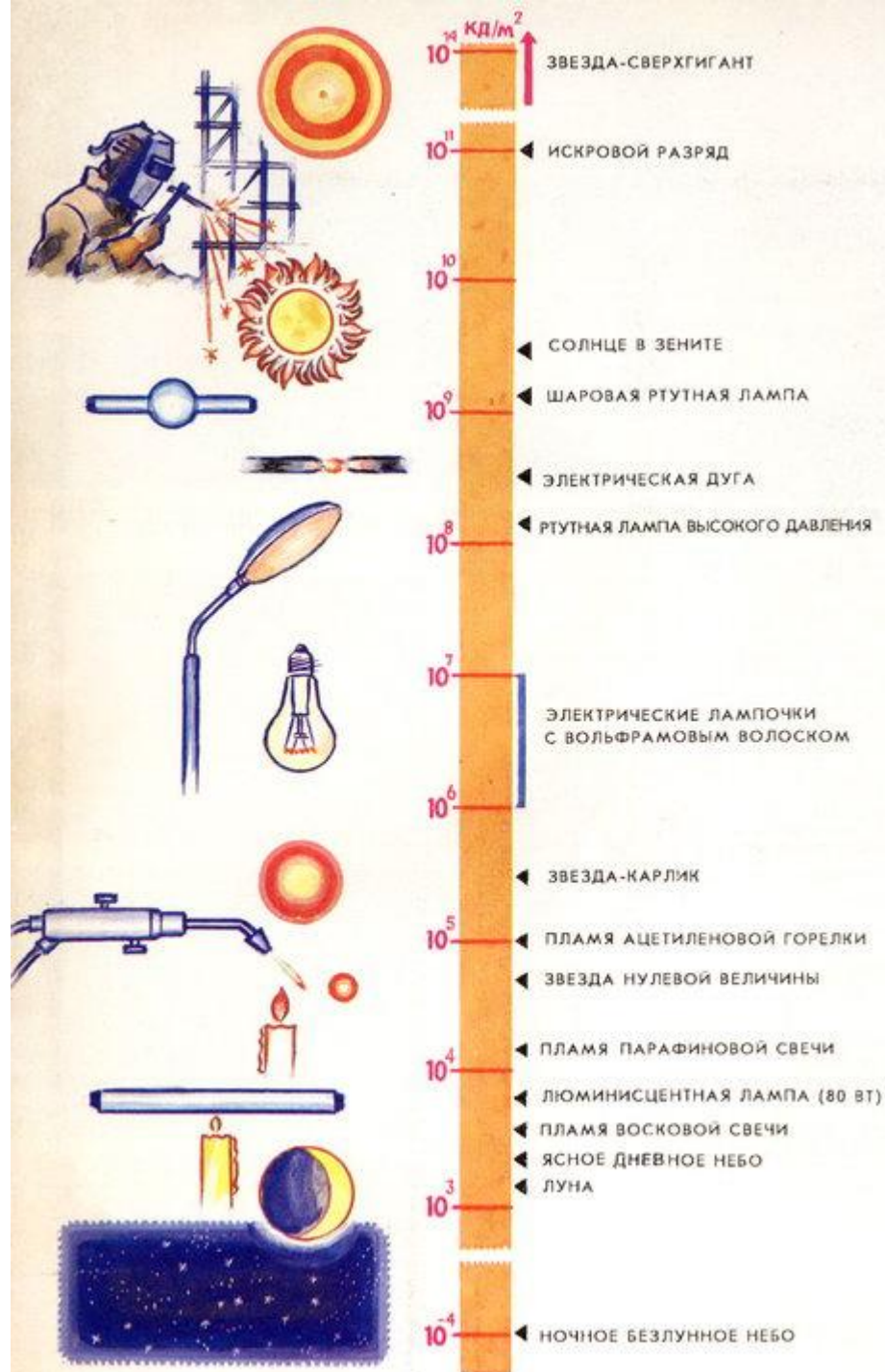
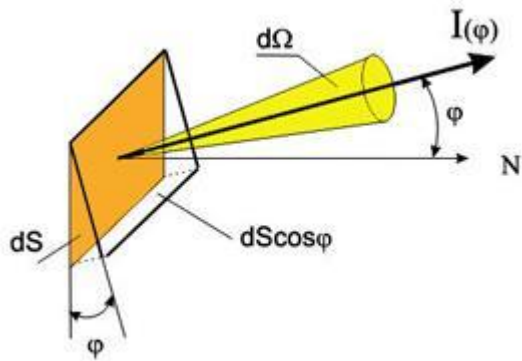
Яркость источника
света:

$$L = \frac{E}{\Omega}$$



Яркость освещенной
поверхности

$$L = \frac{I}{S \cos \varphi}$$



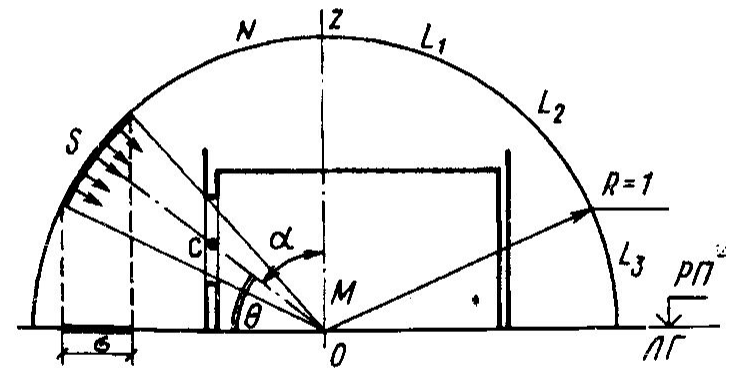
Основные законы естественной

ОСВЕЩЕННОСТИ Закон проекции телесного угла –

освещенность какой-либо точки поверхности (М), создаваемой равномерно светящейся поверхностью неба, прямо пропорционально яркости неба L и площади проекции телесного угла σ , в пределах которого из данной точки М виден участок неба.

Допущения:

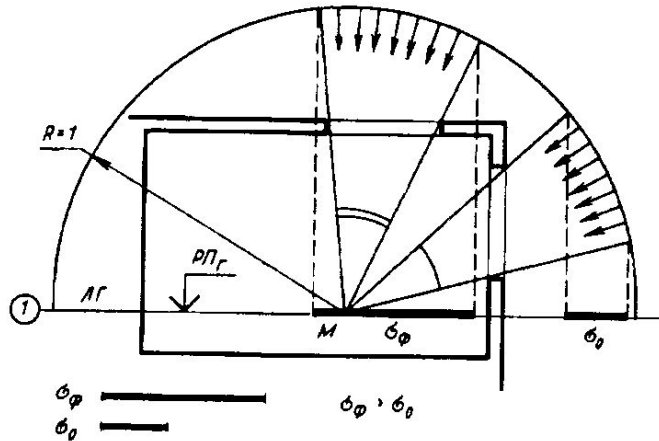
1. Яркость неба во всех точках одинакова,
2. Влияние отраженного света не учитывается.
3. В



$$E_M = L S \cos \alpha$$

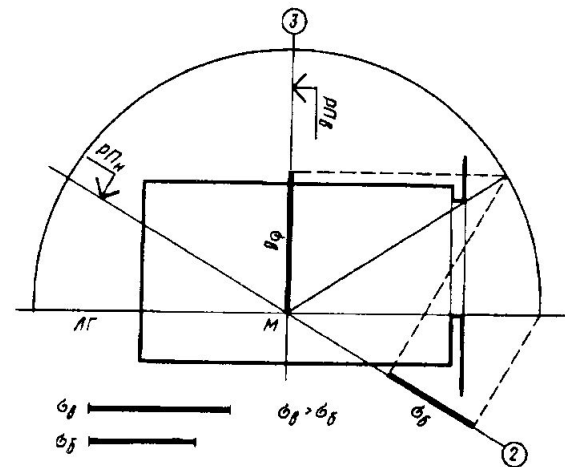
$$S \cos \alpha = \sigma$$

$$E_M = L \sigma$$



Горизонтальная
поверхность

ся.



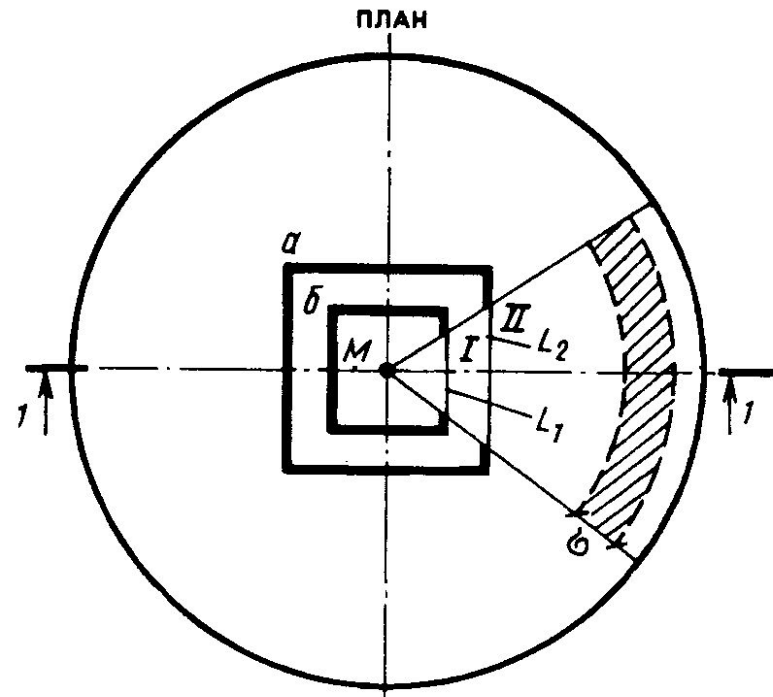
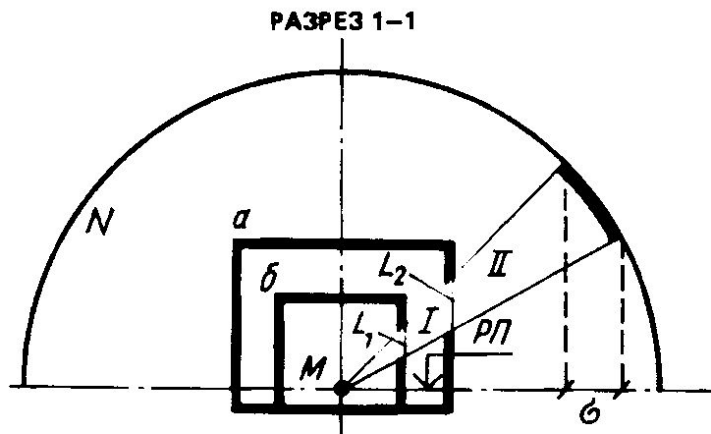
Наклонная
поверхность

Если поверхность открытая: $E_H = L\pi R^2$

$$e = \frac{E_M}{E_H} = \frac{L\sigma}{L\pi} = \frac{\sigma}{\pi}$$

Это «геометрический» КЕО

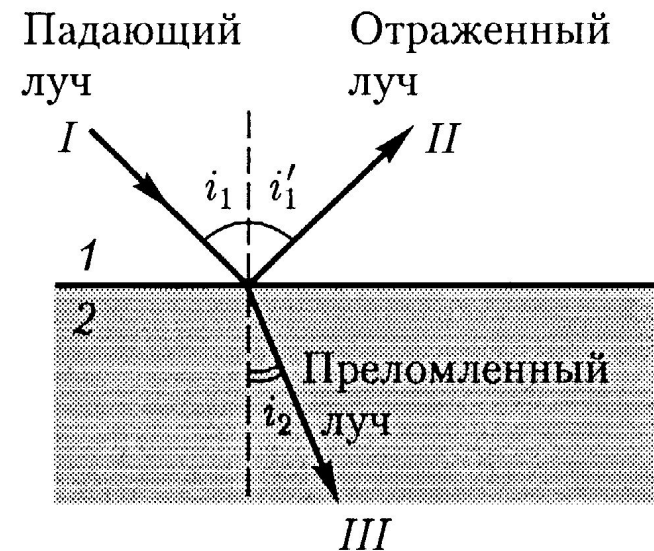
Закон светотехнического подобия – освещенность в точке М зависит только от телесного угла, а значит не от абсолютной, а от относительной площади проемов.



Законы линейной ОПТИКИ

1. **Закон прямолинейного распространения света:** свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.
2. **Закон независимости световых пучков:** эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены
3. **Закон отражения света:** отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения; угол отражения (i_1') равен углу падения (i_1): $i_1' = i_1$
4. **Закон преломления света:** луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}$$



$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{— относительный показатель преломления}$$

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu} \quad \text{— абсолютный показатель преломления}$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad \text{Если } n_1 > n_2 \text{ то } \frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2} > 1 \quad i_2 > i_1$$

Если $i_2 = \frac{\pi}{2}$ то $i_1 = i_{np}$
 предельный
 угол

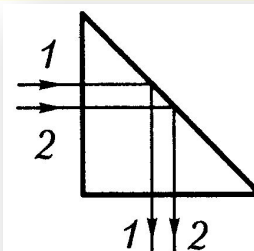
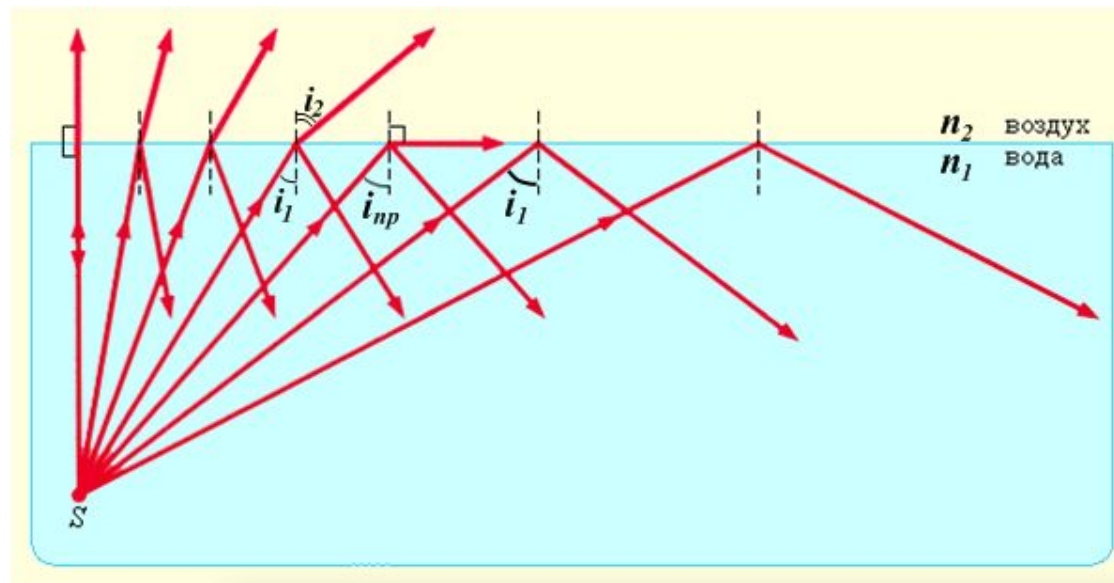
$$\sin i_{np} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

$\frac{\pi}{2} > i_1 > i_{np}$ - полное
 отражение

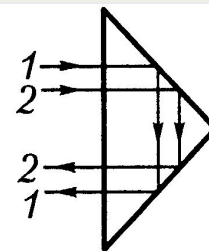
Явление полного отражения
 используется в

1) призмах полного отражения:
 $n = 1,5 \Rightarrow i_{np} = \arcsin \frac{1}{1,5} = 42^\circ$

полное отражение $i > 42^\circ$



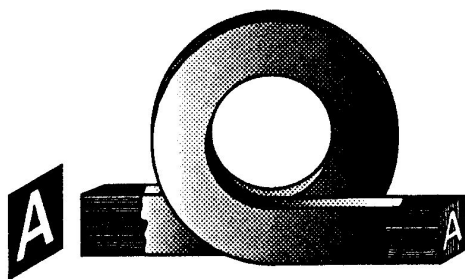
Поворачивает
 лучи на 90°



Поворачивает
 изображение

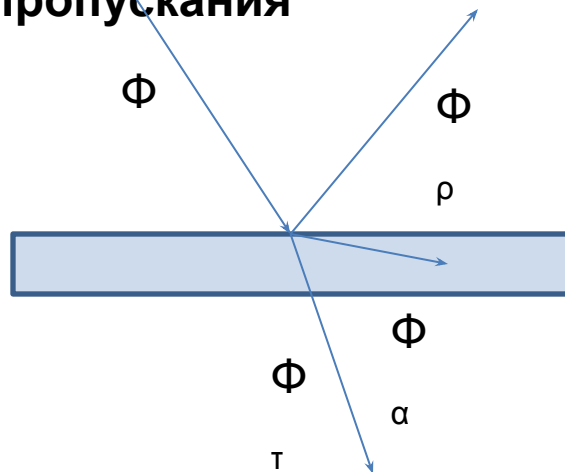


Оборачивает
 лучи



2) световодах
 (светопроводах)

6. Коэффициенты отражения, поглощения, пропускания



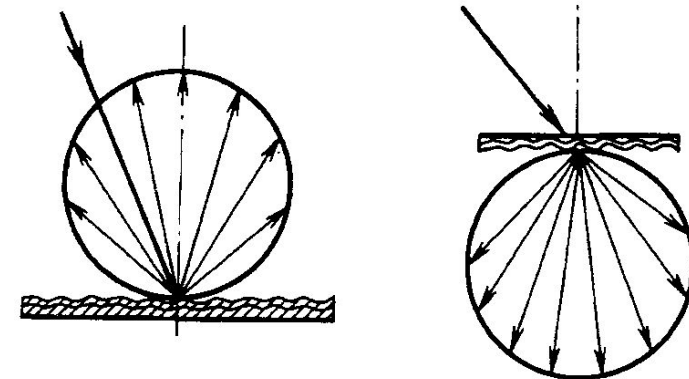
$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha}$$

$$1 = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} + \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} + \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi}$$

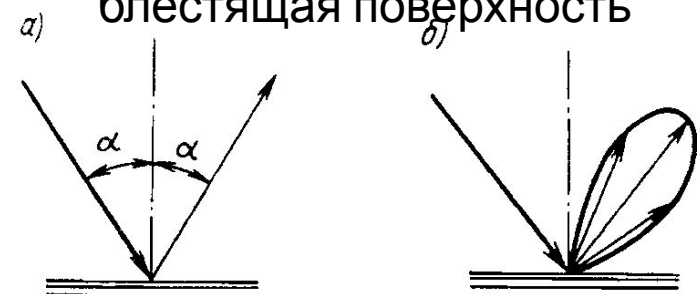
$$1 = \rho + \tau + \alpha$$

ρ – коэффициент отражения,
 τ – коэффициент пропускания, α –
 коэффициент поглощения

Диффузное отражение,
 пропускание



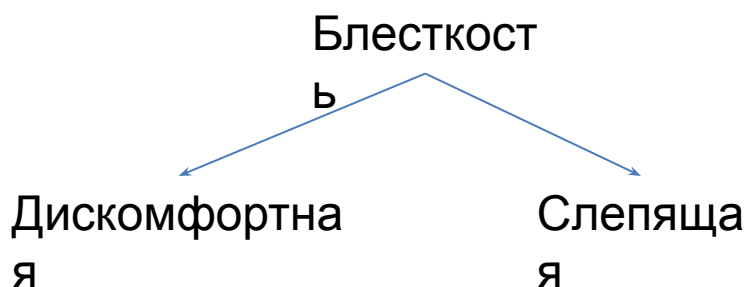
Зеркальная поверхность,
 блестящая поверхность



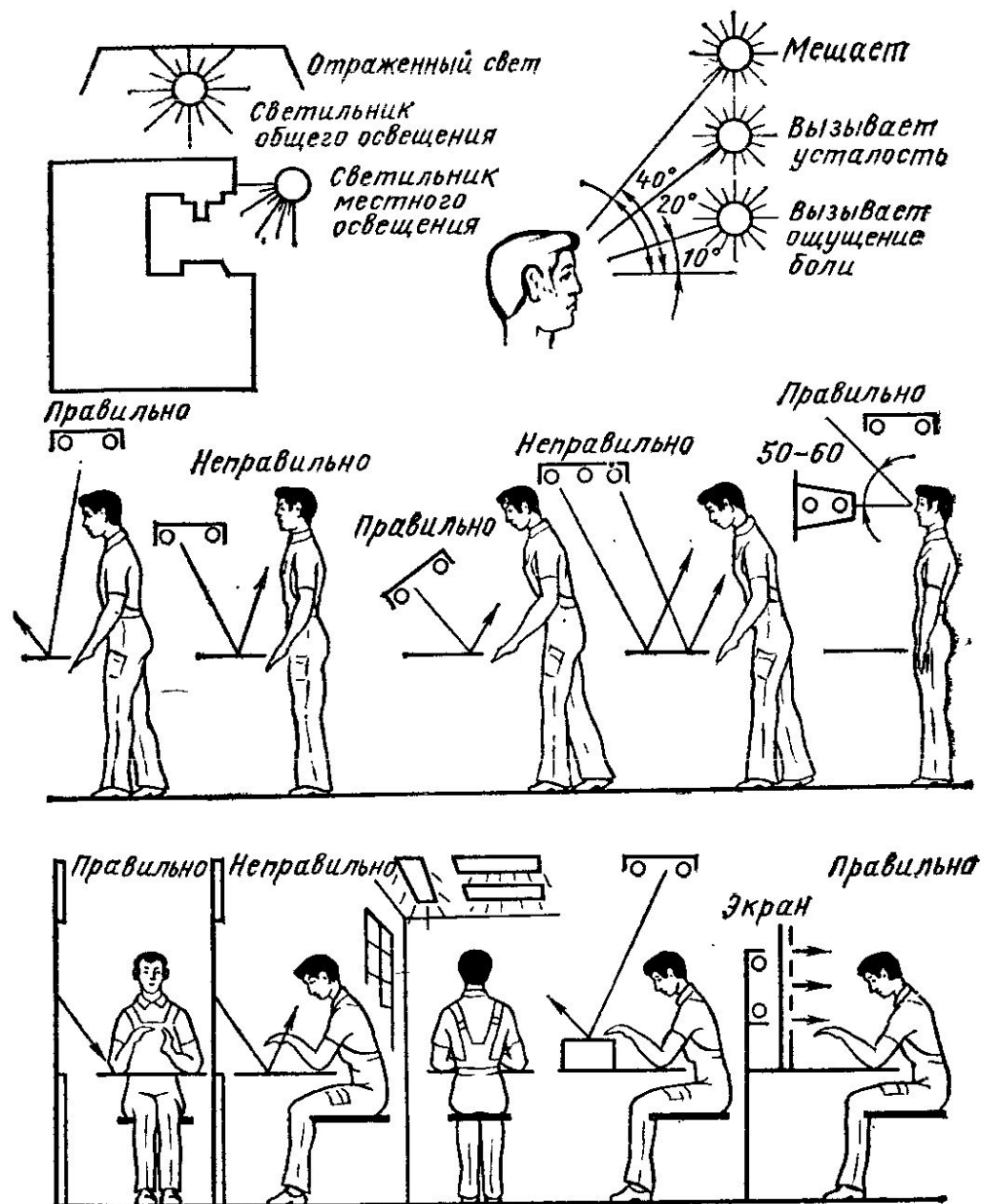
Материал	Толщина, мм	Коэффициенты, %		
		ρ	τ	α
Листовое оконное стекло	2–3	8	90	2
Узорчатое прокатное стекло	3–6	20	70	10
Молочное стекло	2–3	–	60	–
Матированное стекло	2–3	–	65	–
Зеркало посеребренное	3–6	85	–	15
Тонкие белые мраморные плиты	8–9	55	5	40
Материал с белой окраской	–	80	–	20

Блесткость – характеристика качественной стороны отражения:

- прямая блесткость – проявляется при наличии светящихся поверхностей (окон, светильников и т.д.) в направлениях близких к направлению зрения
- периферическая блесткость - от светящихся поверхностей в направлениях не совпадающих с направлением зрения
- отраженная блесткость – вызвана наличием зеркальных отражений от источника света

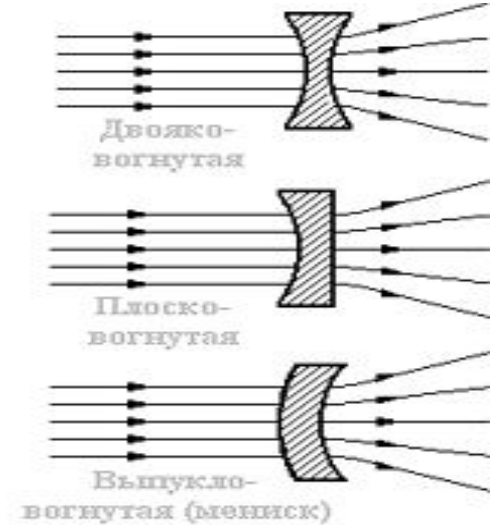
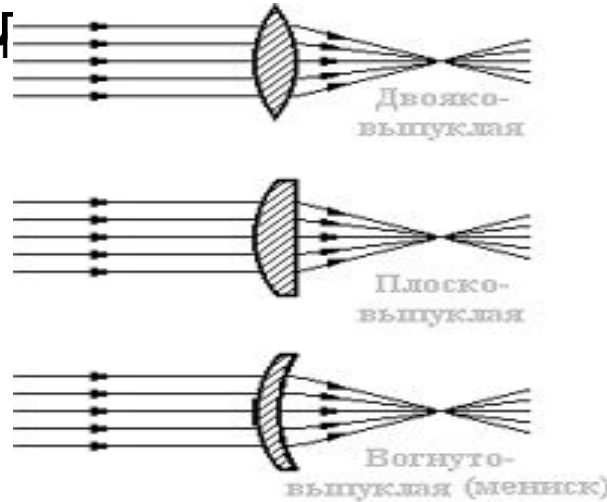


Блесткость характеризуется как опасный или вредный производственный фактор

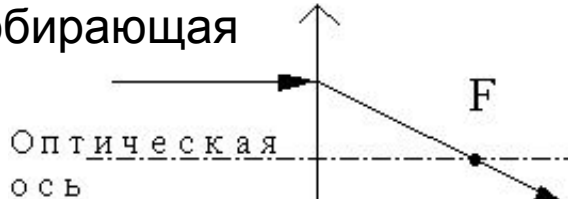


Теория тонких

Линза называется тонкой, если ее толщина значительно меньше радиусов поверхностей, ограничивающих линзу. Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется главной оптической осью



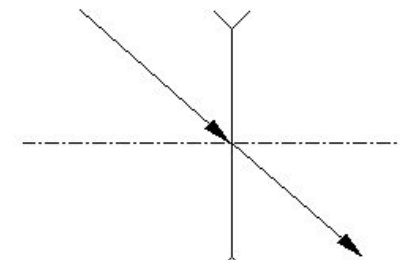
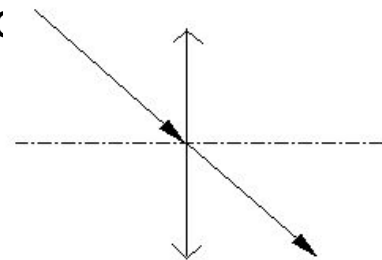
собирающая



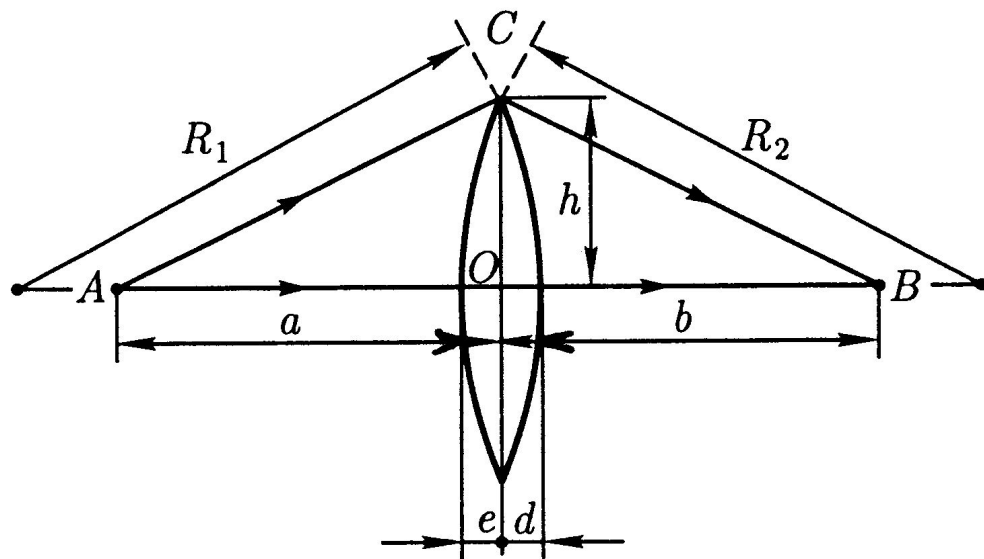
рассеивающая



Оптический центр линзы – точка **O**, лежащая на главной оптической оси и обладающая тем свойством, что лучи, проходящие через нее, не преломляются



Принцип Ферма (принцип наименьшего времени): действительный путь распространения света есть путь, для прохождения которого свету требуется минимальное время по сравнению с любым



n – показатель преломления

n_l – показатель преломления линзы
оказывающей среды

$$N = \frac{n}{n_l} \text{ - относительный показатель преломления}$$

$$t_1 = \frac{AO}{AC} = \frac{a + N(e + d) + b}{c}$$

$$t_2 = \frac{BO}{BC} = \frac{\sqrt{(a + e)^2 + h^2} + \sqrt{(b + d)^2 + h^2}}{c}$$

$$t_1 = t_2 \Rightarrow a + N(e + d) + b = \sqrt{(a + e)^2 + h^2} + \sqrt{(b + d)^2 + h^2}$$

$$\Rightarrow h \ll (a + e) \quad h \ll (b + d)$$

Параксиальные лучи – лучи, образующие с оптической осью малые углы

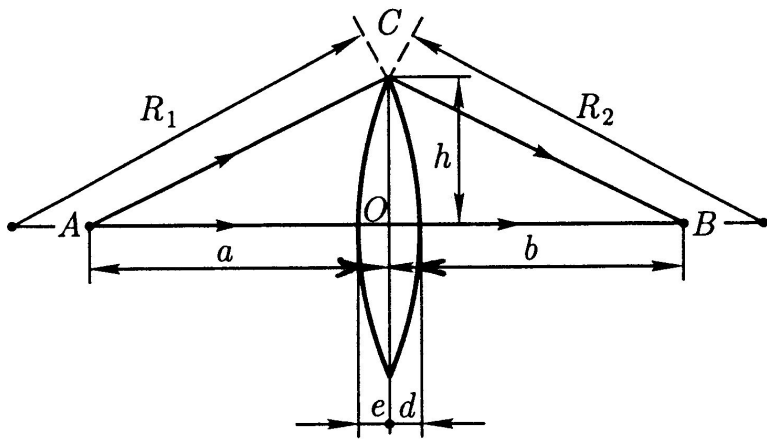
$$\sqrt{(a + e)^2 + h^2} = (a + e) \sqrt{1 + \frac{h^2}{(a + e)^2}} \approx$$

Аналогично

$$\sqrt{(b + d)^2 + h^2} \cong b + d + \frac{h^2}{2(b + d)}$$

$$\approx (a + e) \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a + e} \right)^2 \right] = a + e + \frac{h^2}{2(a + e)}$$

$$a + N(e + d) + b = a + e + \frac{h^2}{2(a + e)} + b + d + \frac{h^2}{2(b + d)}$$



$$(N-1)(e+d) = \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{a+e} + \frac{1}{b+d} \right)$$

$$e \ll a \quad d \ll b \quad \Rightarrow$$

$$(N-1)(e+d) = \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

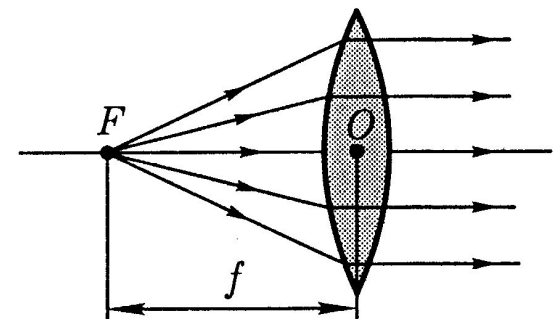
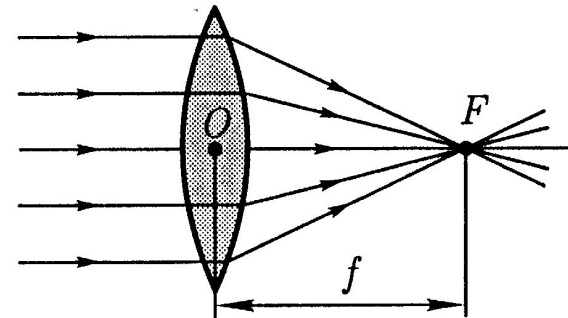
$$e = R_2 - \sqrt{R_2^2 - h^2} = R_2 - R_2 \sqrt{1 - \frac{h^2}{R_2^2}} \cong R_2 - R_2 \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{R_2} \right)^2 \right] = \frac{h^2}{2R_2} \quad d = \frac{h^2}{2R_1}$$

$$(N-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad \text{— формула тонкой линзы}$$

Для выпуклой поверхности линзы радиус кривизны $R > 0$, для вогнутой — $R < 0$

$$a = \infty \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{b} = (N-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad b \neq f = OF$$

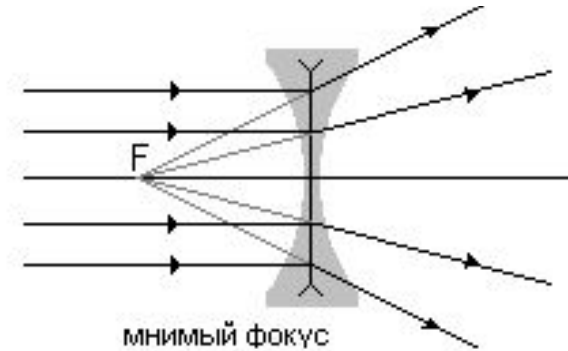
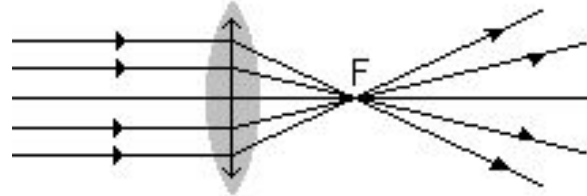
$$b = \infty \quad \Rightarrow \quad a \neq f = OF \quad f - \text{фокусное расстояние}$$



$$f = \frac{1}{(N-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

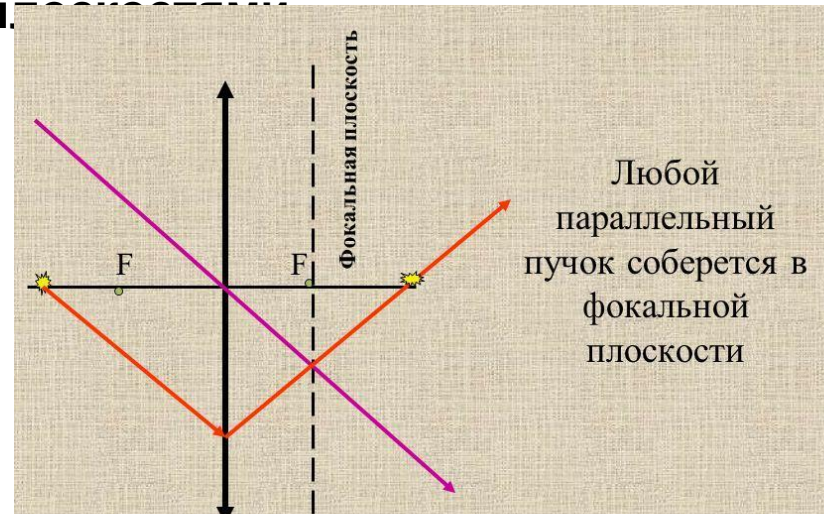
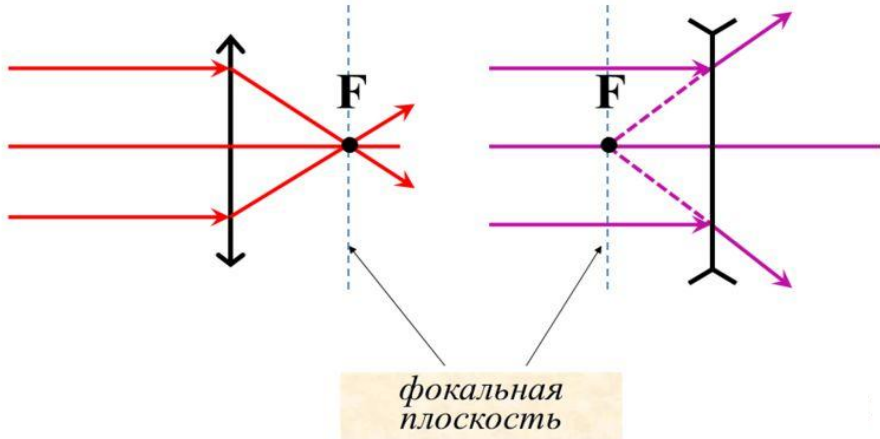
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad \text{- формула тонкой линзы}$$

Точки F , лежащие по обе стороны линзы, на расстоянии, равном фокусному, называются фокусами линзы



Рассеивающая линза имеет мнимые фокусы $f < 0$ и b

Плоскости, проходящие через фокусы линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, называются **фокальными плоскостями**.



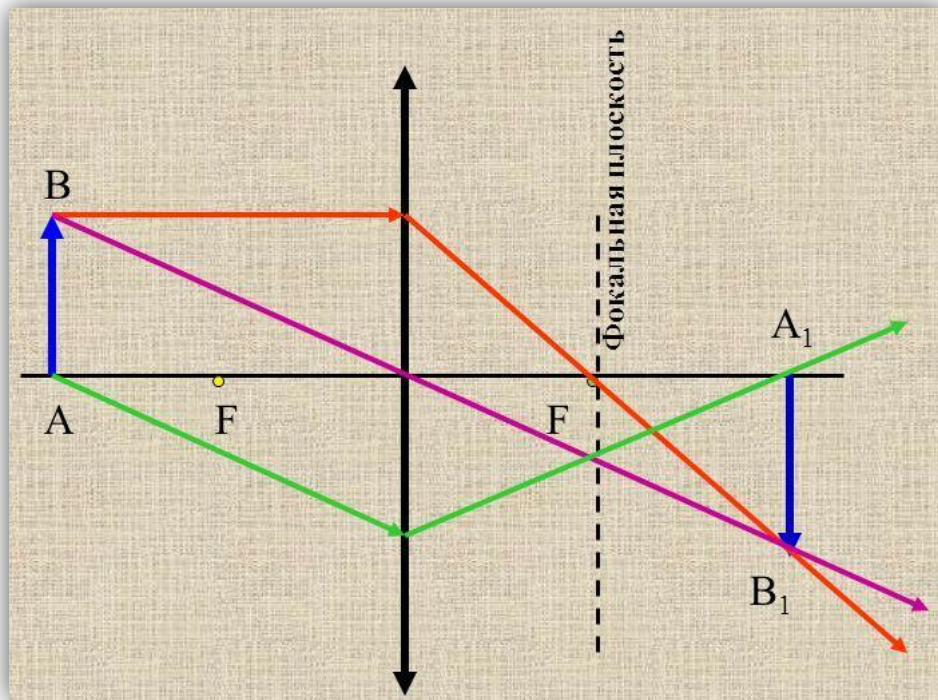
$$\Phi = \frac{1}{f} = (N-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad \text{- оптическая сила линзы, дптр}$$

$\Phi > 0 \Rightarrow$ линза собирающая
 $\Phi < 0 \Rightarrow$ линза рассеивающая

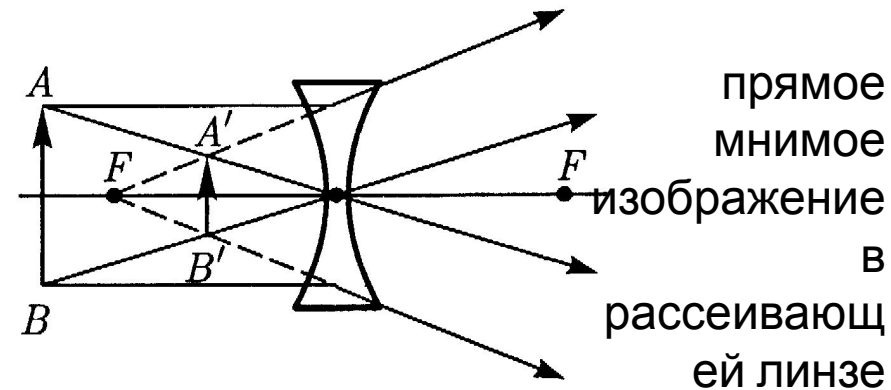
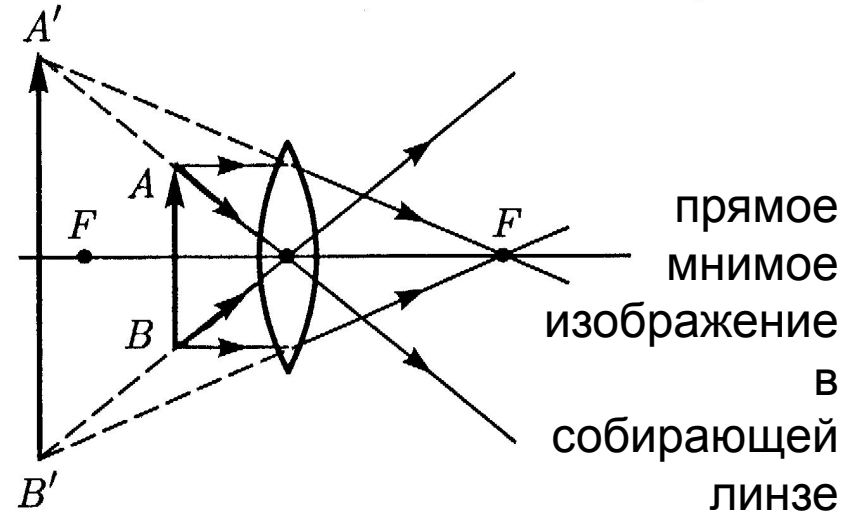
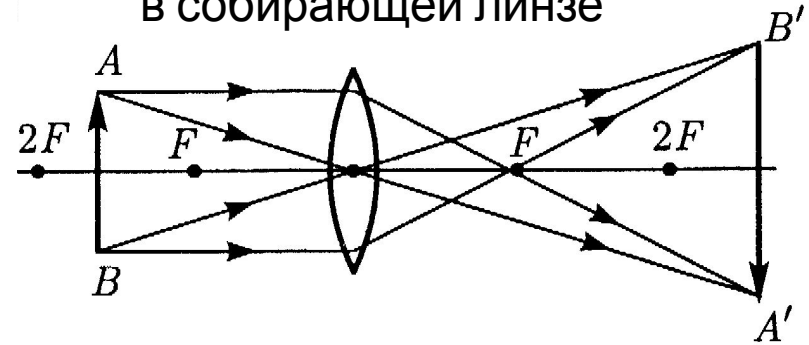
Построение

изображения:

1. луч, проходящий через оптический центр линзы;
2. луч, идущий параллельно главной оптической оси;
3. луч (или его продолжение), проходящий через первый фокус линзы



действительное
перевернутое изображение
в собирающей линзе



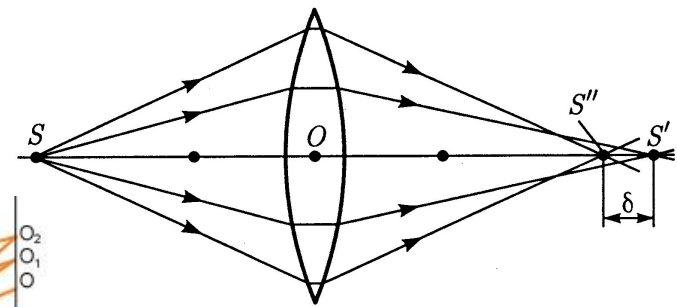
Аберрация оптических систем – это искажения изображения, вызванные неидеальностью оптической системы

Сферическая аберрация – это вид погрешностей, связанных со сферичностью преломляющих поверхностей

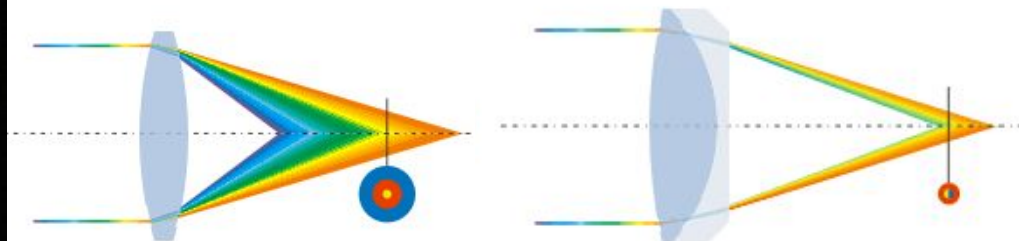
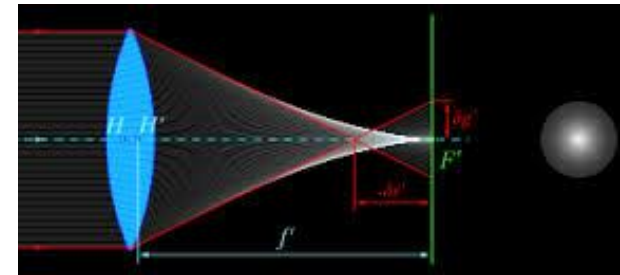
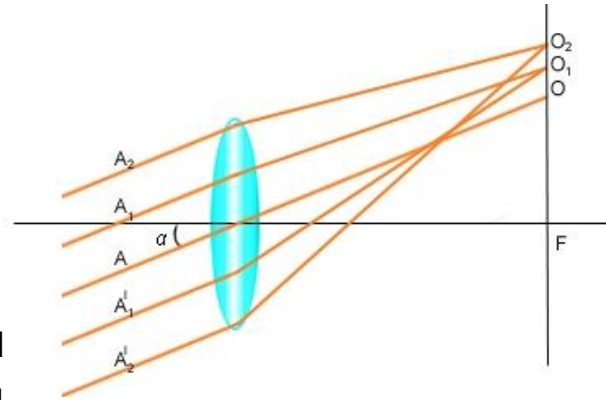
Кома – внеосевая аберрация, связанная с наклоном лучей света, идущих от источника, к оптической оси линзы

Дисторсия – это погрешность, при которой при больших углах падения лучей на линзу линейное увеличение точек предмета, находящихся на разных расстояниях от главной оптической оси, несколько

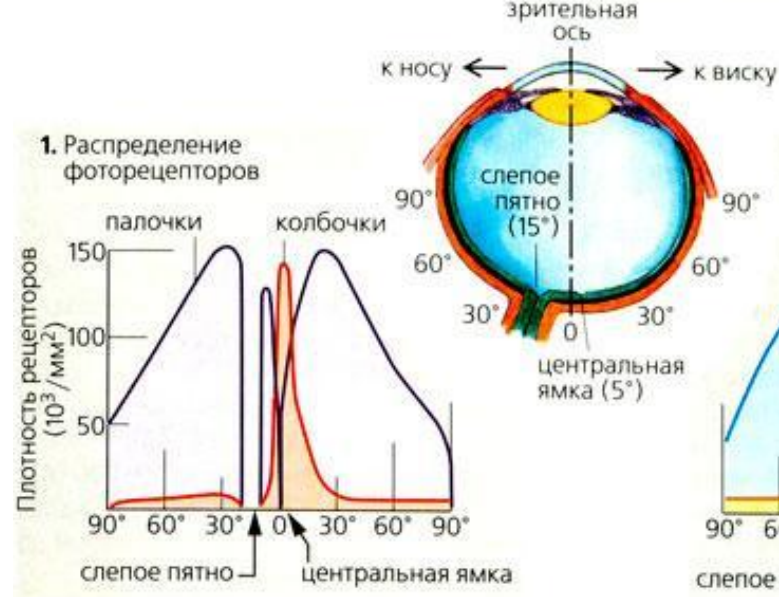
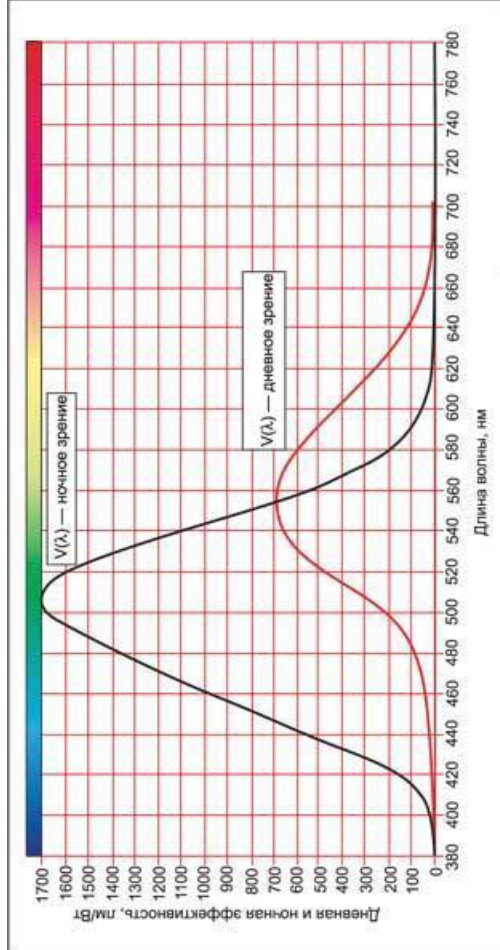
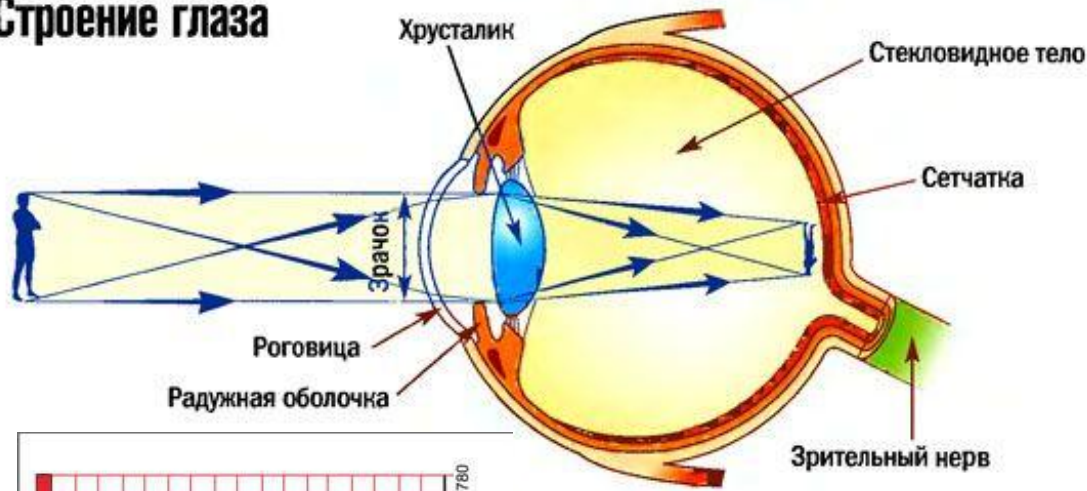
Хроматическая аберрация – явление вызванное дисперсией света проходящего через линзу, т.е. разложением луча света на



$$\delta = OS'' - OS'$$



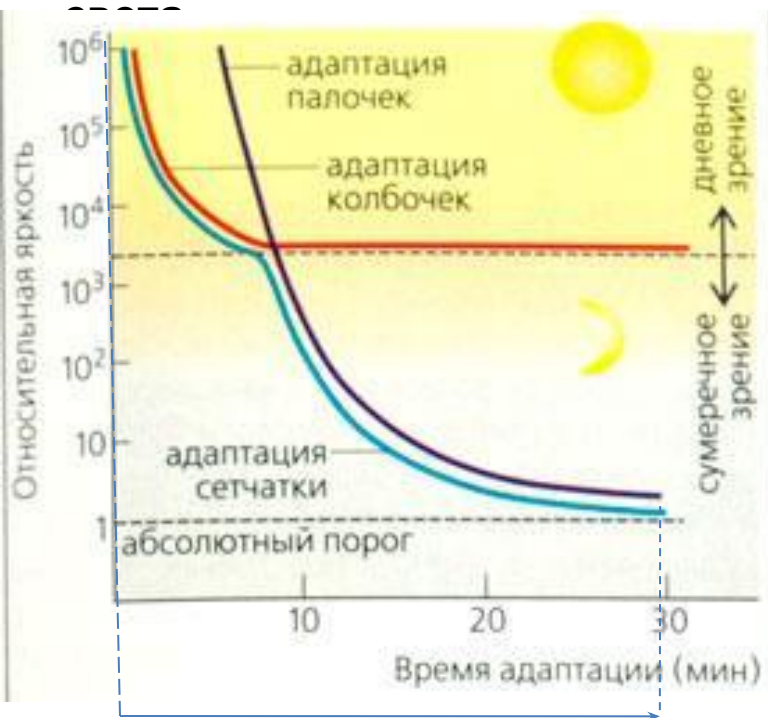
Строение глаза



Характеристики зрительного анализатора

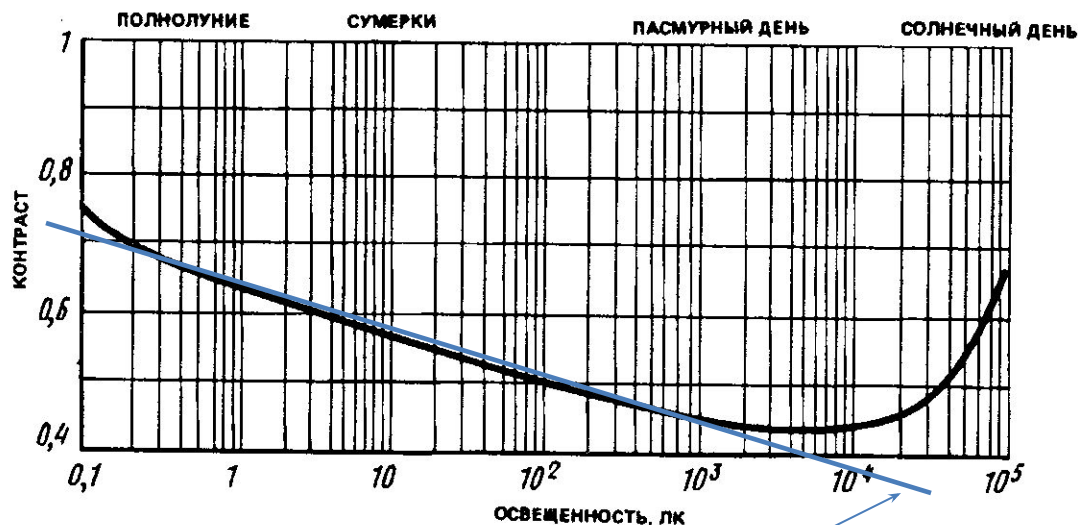
Характеристика глаза	Дневное (центральное) зрение	Сумеречное зрение	Ночное (периферическое) зрение
Светочувствительные элементы	Колбочки	Колбочки + палочки	Палочки
Способность реагировать на яркость	Высокие яркости, $L \geq 10 \text{ кд/м}^2$	Малые яркости, $0,01 < L < 10 \text{ кд/м}^2$	Очень малые яркости, $L \leq 0,01 \text{ кд/м}^2$
Спектральная чувствительность к излучениям	Максимальная к желто-зеленому [$\lambda = 555 \text{ нм}$, $V(\lambda) = 1,0$] с уменьшением к красному [$\lambda = 710 \text{ нм}$, $V(\lambda) = 0,0021$] и фиолетовому [$V(\lambda) = 0,0012$ при $\lambda = 410 \text{ нм}$]	Максимальная к голубовато-зеленому ($\lambda = 520 \text{ нм}$) с уменьшением в длинноволновой и коротковолновой частях спектра	Максимальная к зеленовато-голубому [$\lambda = 510 \text{ нм}$, $V'(\lambda) = 1,0$] с уменьшением к красно-оранжевому [$V'(\lambda) = 0,00737$ при $\lambda = 620 \text{ нм}$] и фиолетовому [$V'(\lambda) = 0,0022$ при $\lambda = 390 \text{ нм}$]
Способность к восприятию цветов	Хорошее различие цветов	Голубые и зеленые светлеют, красные темнеют	Цвета не различаются, черно-белое видение
Способность к различению деталей	Высокая разрешающая способность	Малая разрешающая способность	Отсутствует

Время адаптация к яркости



Яркий свет – сумерки на пороге восприятия ≈ 30 мин

Воспринимаемый контраст от освещенности



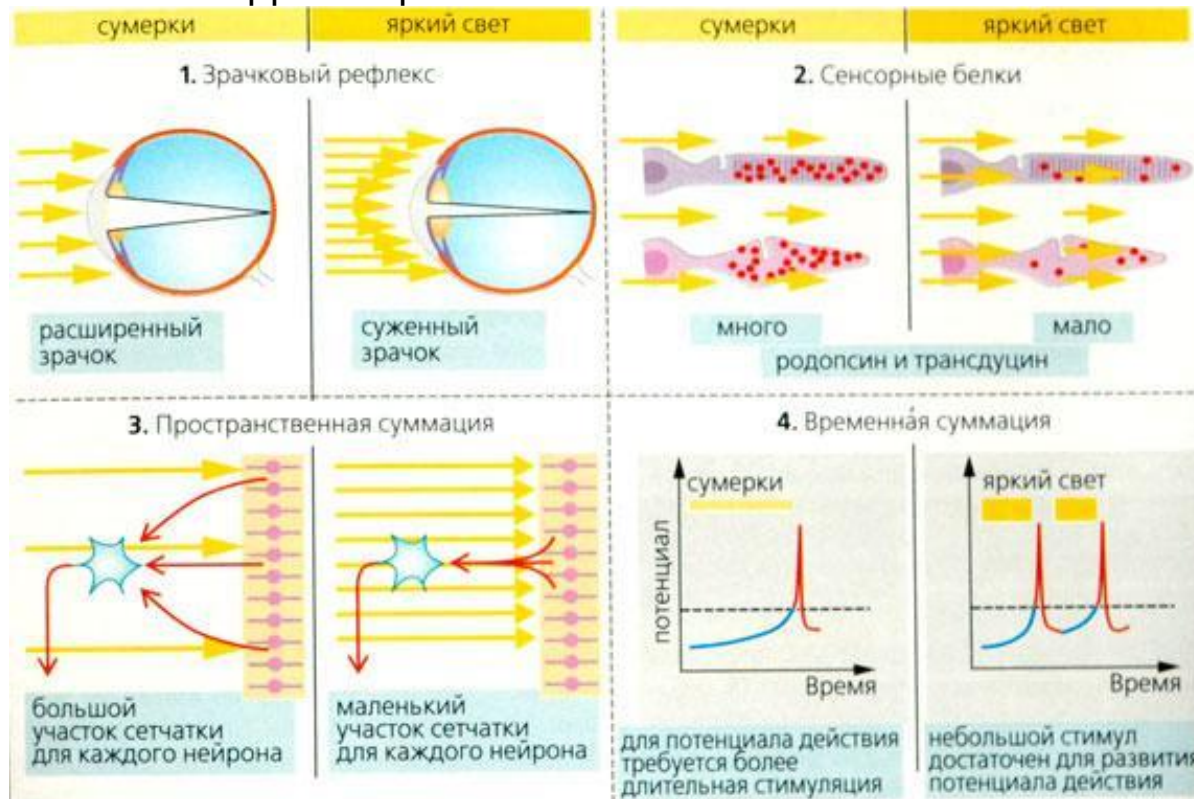
По закону Вебера-Фехнера

Глаз обрабатывает широкий диапазон яркости ($1: 10^{11}$).

Адаптация – способность приспосабливаться к свету разной интенсивности.

Дифференциальный порог – способность глаза улавливать разницу между двумя сходными световыми стимулами.

Механизмы световой адаптации



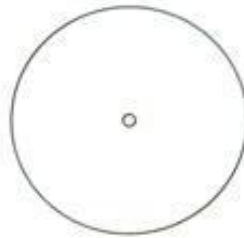
Зрачковый рефлекс – зрачок может изменять количество света, поступающего на сетчатку, в 16 раз. Основная функция – обеспечение быстрой адаптации к неожиданным изменениям силы света.

Химические стимулы – регулирование доступности родопсина.

Пространственная суммация – изменение участка поверхности сетчатки (числа сенсоров), возбуждающего волокно

Временная суммация – краткие подпороговые стимулы суммируются, если их частота выше порогового уровня при увеличении длительности стимуляции (пристальное и достаточно долгое разглядывание объекта) в степени, достаточной для запуска потенциала действия (ПД). При этом произведение интенсивности стимула на его длительность остается постоянным.

Последовательный контраст

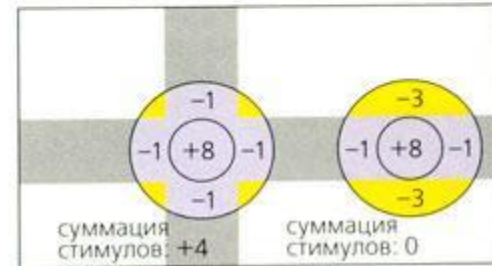
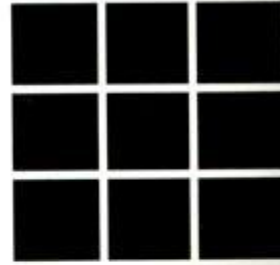
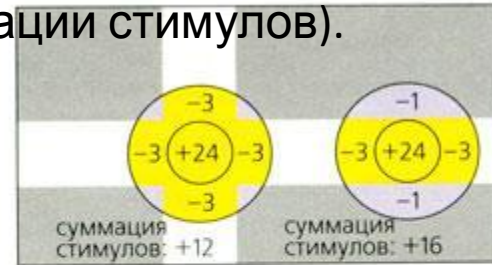


Цветовой контраст



Одновременный контраст Сплошной серый круг кажется темнее на светлом фоне, чем на темном.

На черно-белой решетке белые линии решетки кажутся темнее на пересечениях, а черные линии решетки кажутся светлее, поскольку контраст в этих участках уменьшен (эффект суммации стимулов).

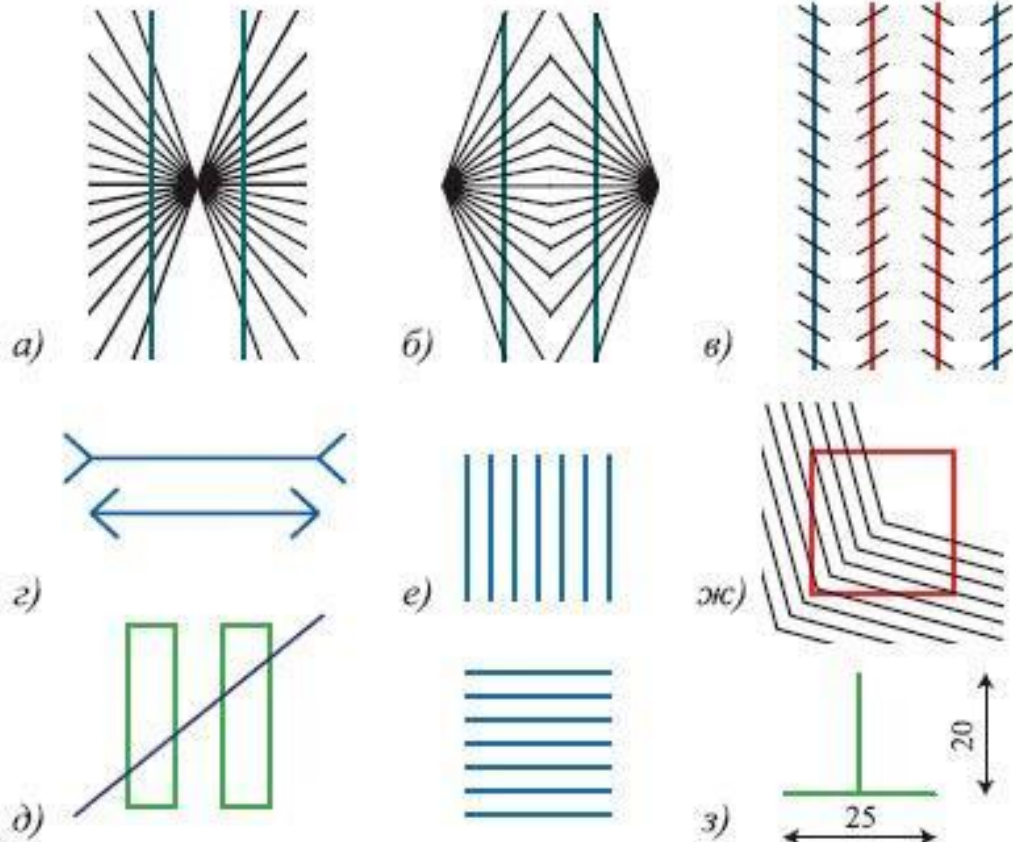


Иллюзии

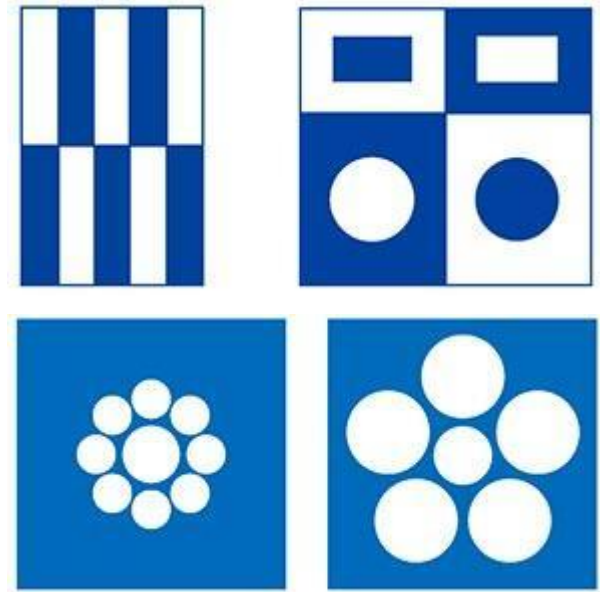
контраста

Оптико-геометрические

- а – иллюзия выпуклости (Геринга)
- б – иллюзия вогнутости (Вундта)
- в – иллюзия непараллельности (Целльнера)
- г – иллюзия переоценки размеров острых углов (Мюллера-Ляйера)
- д – иллюзия излома наклонной линии (Поггендорфа)



Иррадиация – изменение площади равновеликих фигур

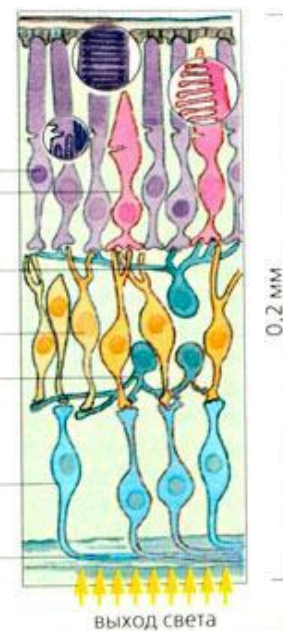
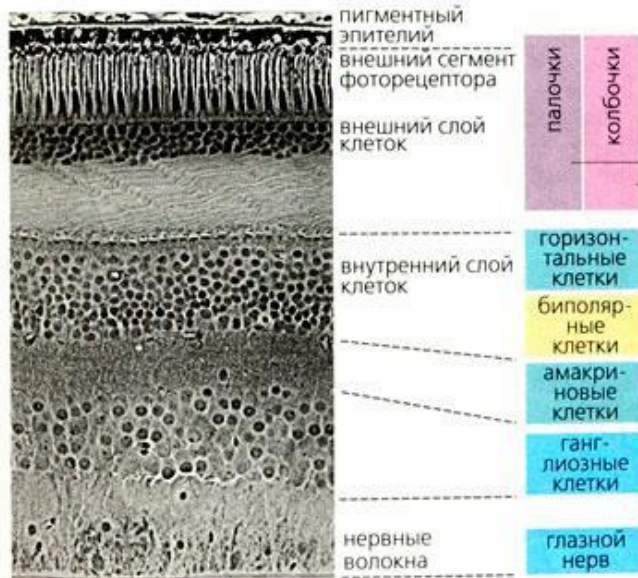
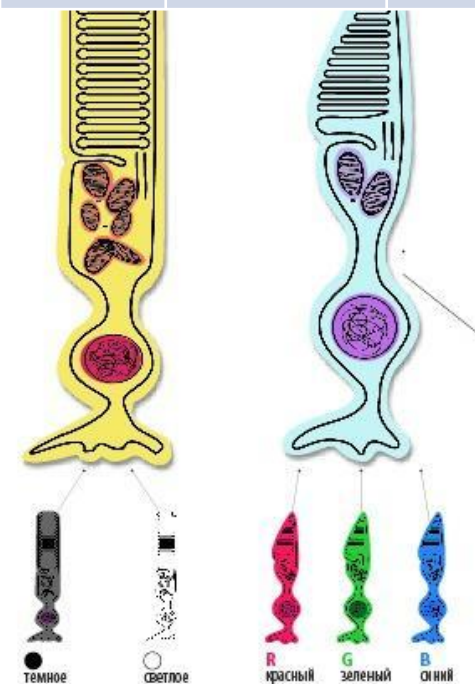
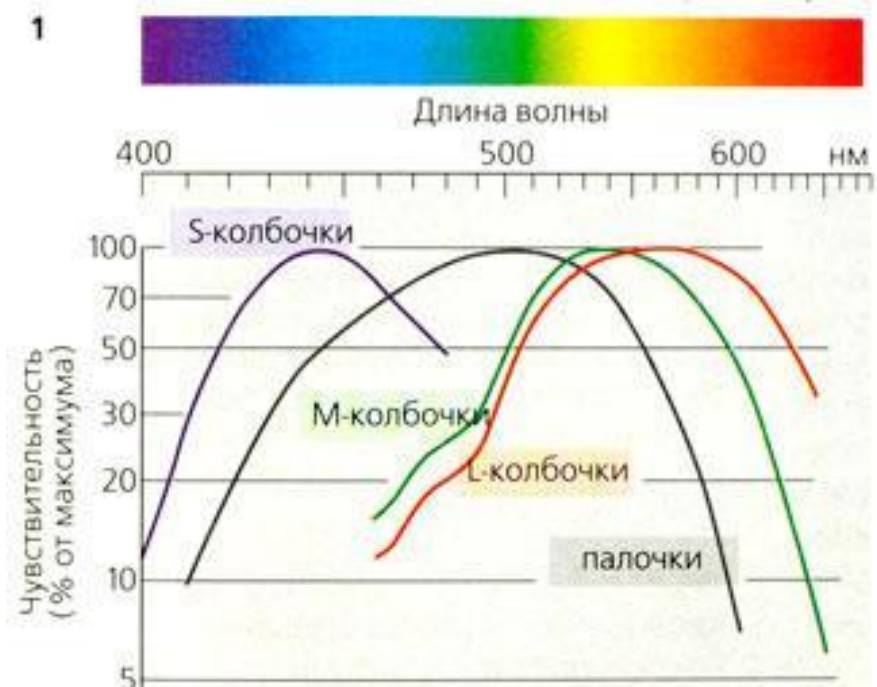


- е – иллюзия большей длины вписанных в поле квадрата вертикальных линий (переоценка вертикали)
- ж, з – иллюзия зрительного искажения фигуры (квадрата или круга)

Цветовая

Тип колб о-чек	Длины волн, нм	МАХ чув- ствитель- ность, нм	Цвет
S	400-500	420-440	Синий
M	450-630	534-555	Зелены й
L	500-700	564-580	Красны й

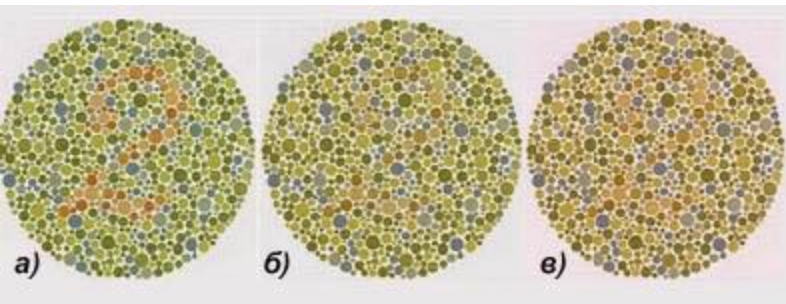
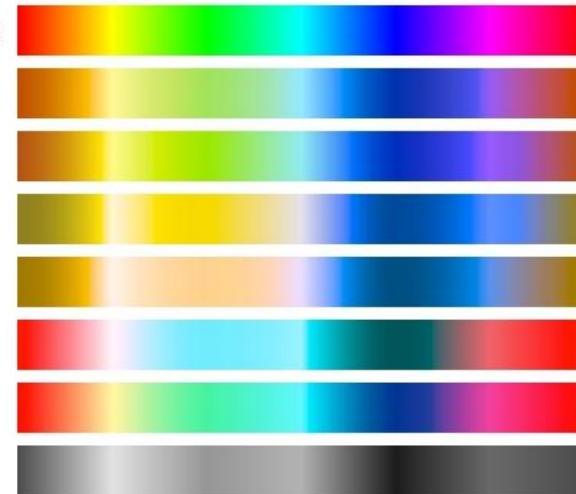
1



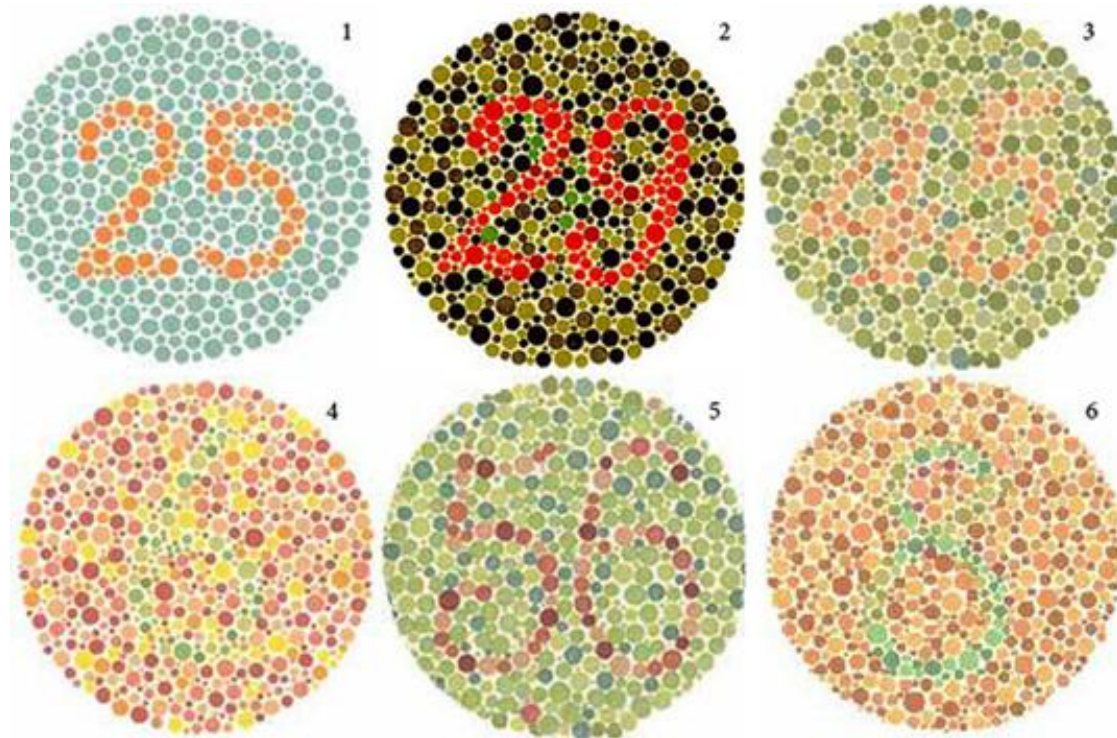
«Синие» колбочки находятся ближе к периферии, «красные» и «зеленые» распределены случайным образом. Кривые спектральной чувствительности трёх видов колбочек частично перекрываются, что способствует явлению метамерии. Очень сильный свет возбуждает все три типа рецепторов, и потому воспринимается как



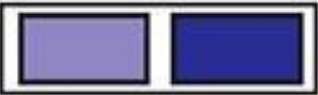
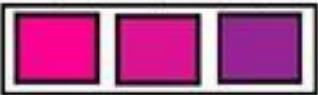
92%	Нормальное зрение
2.7%	Дейтераномалия
0.66%	Протаномалия
0.59%	Протанопия
0.56%	Дейтеранопия
0.016%	Тританопия
0.01%	Тританомалия
<0.0001%	Ахроматопсия

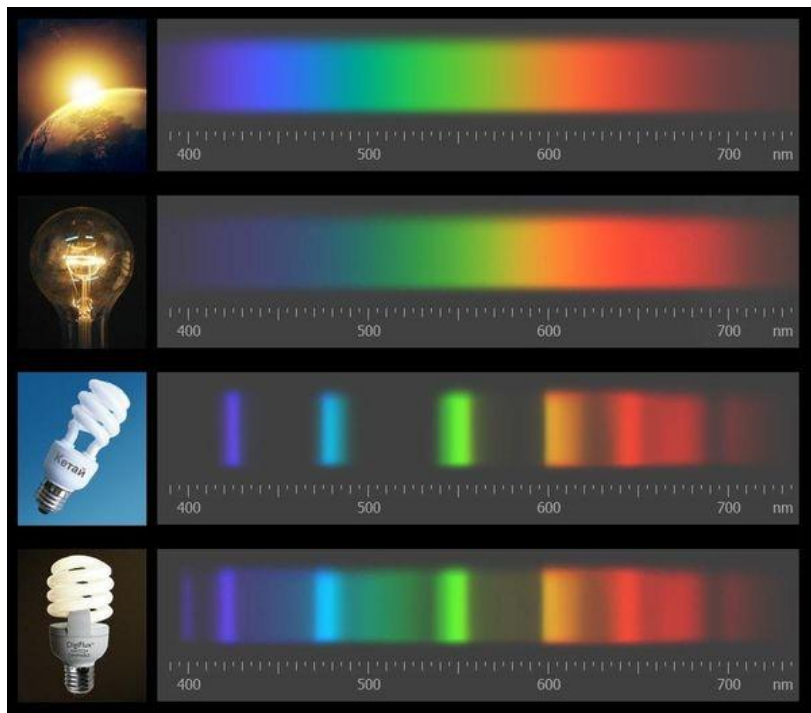


а – здоровый человек,
б – протаномал,
в – дейтерономал



№ пп.	Основные цвета. Наименование	Зрительные впечатления. Ассоциации						Первое ощуще- ние цвета	Психологи- ческое вос- приятие цвета	Основные символические значения, их знаково- коммуникативный смысл
		Расстоя- ние	Объем	Масса	Темпе- ратура	Светлота (Яркость)	Движе- ние			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Красный 	Очень близкий, выступа- ющий	Увеличи- вающий в ширину	Тяжелый	Горячий	Яркий	Актив- ный, динамич- ный	Возбужда- ющий, покоряю- щий	Тревожный, страстный, жизнеут- верждающий	Огонь, любовь, феерия; мужество, энергия, сила; смелость, достоинство; власть, война, кровь
2	Оранжевый 	Близкий, выступа- ющий	Увеличи- вающий, играющий объемом	Легкий	Теплый	Слепящий, сверкающий	Динамич- ный, под- вижный	Дурманя- щий, страстный	Увлекающий, стимулирующий к деятельности	Тепло, солнце, радость; наслаждение, праздник, великодушие, благородство
3	Желтый 	Прибли- жающийся, выступа- ющий	Слегка увеличи- вающий объем	Легкий	Теплый	Яркий, струящийся лучистый	Подвиж- ный, но эфемер- ный	Приятный радостный	Веселый, беспечный, живой	Движение, жизненность; чистота, ясность, уважение; величие, великолепие, богатство
4	Зеленый 1 2 3 	Нейтраль- ный (1, 2), отступа- ющий (3)	Нейтраль- ный	Легкий (1), не- опреде- ленный (2, 3)	Теплый (1), ней- траль- ный (2), про- хладный (3)	Светлый (1), спокойный (2), темный (3)	Живой (1), инертный (2), статичный (3)	Свежий, ясный, успока- ивающий	Нежный (1), умиротворяющий, спокойный, безопасный (2, 3)	Свобода, ликование, надежда; покой, мир, здоровье, спасение; ясность духа, скромность; нежность, кротость (1)
5	Голубой 	Удаляю- щийся, отступа- ющий	Воздуш- ный	Легкий	Про- хладный	Светлый или нейтральный	Пассив- ный, спо- койный	Чистый, заворажи- вающий	Спокойный, воздушный, прозрачный	Чистота, разум, постоянство; нежность, добродетель; мир, вечность
6	Синий 	Далекий, отступа- ющий	Уменьша- ющий в ширину	Тяжелый	Очень холод- ный	Темный	Застыв- ший, неподвиж- ный	Настора- живающий	Строгий, отдаляющий, таинственный	Слава, честь, верность, искренность; безупречность, испорченность; вселенная

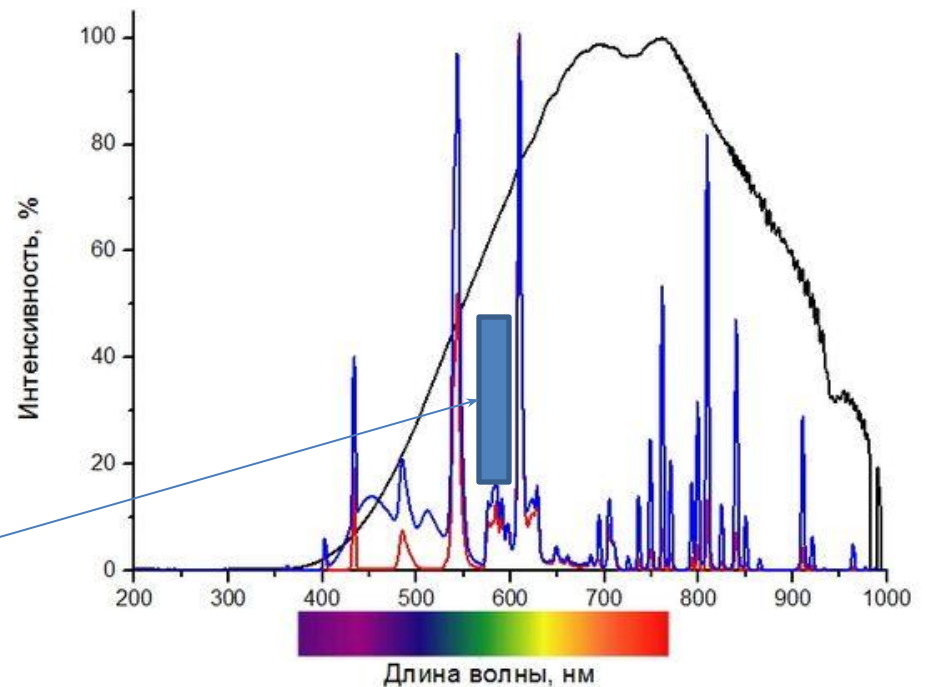
№ пп.	Основные цвета. Наименование	Зрительные впечатления. Ассоциации						Первое ощуще- ние цвета	Психологи- ческое вос- приятие цвета	Основные символические значения, их знаково- коммуникативный смысл
		Расстоя- ние	Объем	Масса	Темпе- ратура	Светлота (Яркость)	Движе- ние			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	Фиолетовый 1 2 	Далекый, отступа- ющий	Уменьша- ющий, делающий изящнее	Тяжелый (2), неопре- делен- ный (1)	Туман- но-про- хладный (1), холод- ный (2)	Светлый (1), очень темный (2)	Спокой- ный (1), застыв- ший (2)	Грустный (1), утне- тающий, пугающий, утомля- ющий	Беспокоящий, таинственный (1), важный, церемониальный (2)	Грусть, печаль, меланхолия (1, 2); мудрость, зрелость; господство, высший разум; космическое пространство
8	Пурпурный 1 2 3 	Прибли- жающийся (1, 2), отступа- ющий (3)	Играющий объемом, чуть увеличи- вающий	Тяжелый (1, 3), неопреде- ленный (2)	Теплый (1), ней- тральный (2, 3)	Яркий (1), нейтраль- ный (2), темный (3)	Подвиж- ный (1), спокой- ный (2), статич- ный (3)	Возбужда- ющий (1), настора- живаю- щий (2, 3)	Роскошный, возвышающий, напряженный	Власть, верховенство, высокорожденность, величие; достоинство, сила, могущество, крепость
9	Коричневый 1 2 3 	Нейтраль- ный (1), выступа- ющий (2), далекый (3)	Нейтраль- ный или сокраща- ющий объем	Неопре- делен- ный (1), тяжелый (2, 3)	Теплый (1, 2), нейтраль- ный (3)	Нейтраль- ный (1), темный (2,3)	Статич- ный	Успока- ивающий, надежный	Земной, сухой (1), твердый, спокойный, сдержанный (2, 3)	Строгость, сдержанность, постоянство, скрытность, благородство, зрелость
10	Белый 	Прибли- жающийся	Увеличи- вающий объем	Легкий	Про- хладный	Очень светлый	Пассив- ный, спо- койный	Чистый, стериль- ный	Благородный, целомудренный, ясный	Чистота, мудрость, невинность, безмятежность души, мир, дух просвещения
11	Серый 1 2 3 	Удаля- ющийся, отступа- ющий	Нейтраль- ный или сокраща- ющий объем	Легкий (1), не- опреде- ленный (2), тя- желый (3)	Ней- траль- ный (1, 2) холод- ный (3)	Светлый (1), тусклый (2), темный (3)	Статич- ный	Спокой- ный, инертный	Вызывающий меланхолию, грусть	Строгость, замкнутость, благородство, скромность; печаль, грусть, тоска
12	Черный 	Далекый, отступа- ющий	Уменьша- ющий объем	Тяжелый	Холод- ный	Мрачный	Непод- вижный, замерший	Равно- душный, утне-та- ющий	Печальный, грустный, траурный, бесконечный	Постоянство, скромность, строгость, торжественность; мир как покой; ночь; траур, смерть



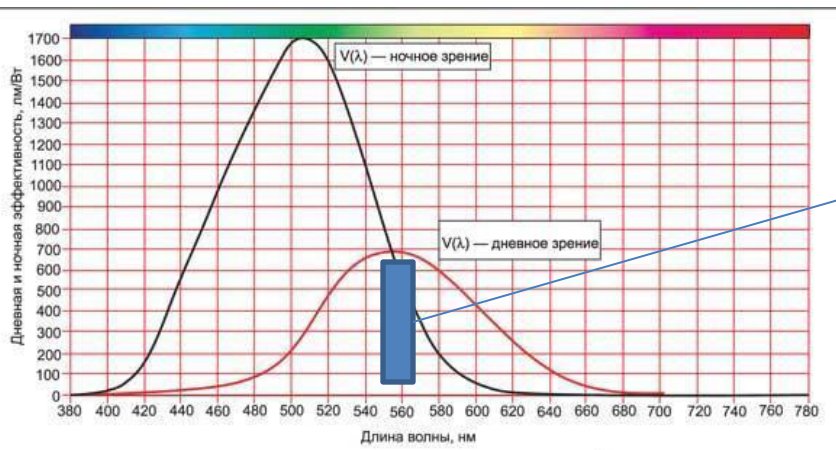
Спектры солнца, лампы накаливания и люминесцентных

Смещение в красную область, как солнце на закате, т.е. расслабляющее действие.

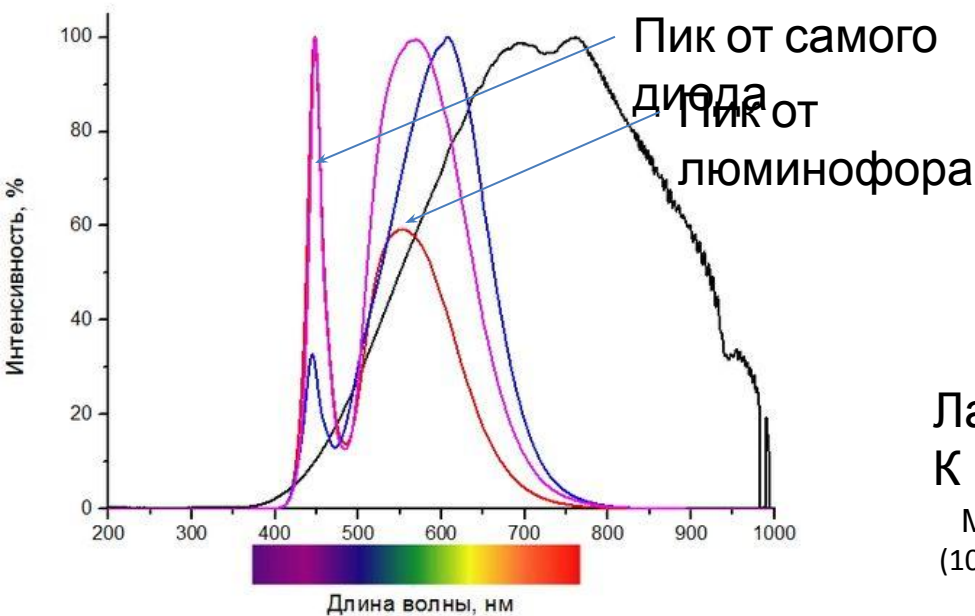
Проблема: слишком маленькая температура накаливания (вольфрам до 3700 K, надо ≈ 5800 K)



Спектры лампы накаливания и люминесцентной лампы



Спектральная чувствительность глаза



Спектры ламп накаливания и светодиодной лампы



Температура 3000-4000 К дает оранжево-желтые тона, при 5000-7000 К свет относительно ровный во всем спектре (нейтрально-белый тон), при 9000 К и выше преобладают короткие волны (голубоватые тона)

Лет 40 назад широко использовались лампы накаливания «дневного света» с исправленным спектром. Их колба имела бледно-голубой оттенок, «вырезающий» избыточные красно-желтые тона спирали.

Результирующий свет был весьма приятным, но сильно ослабленным: для сохранения освещенности мощность лампочки приходилось практически удваивать (с 60 до 100 Вт).

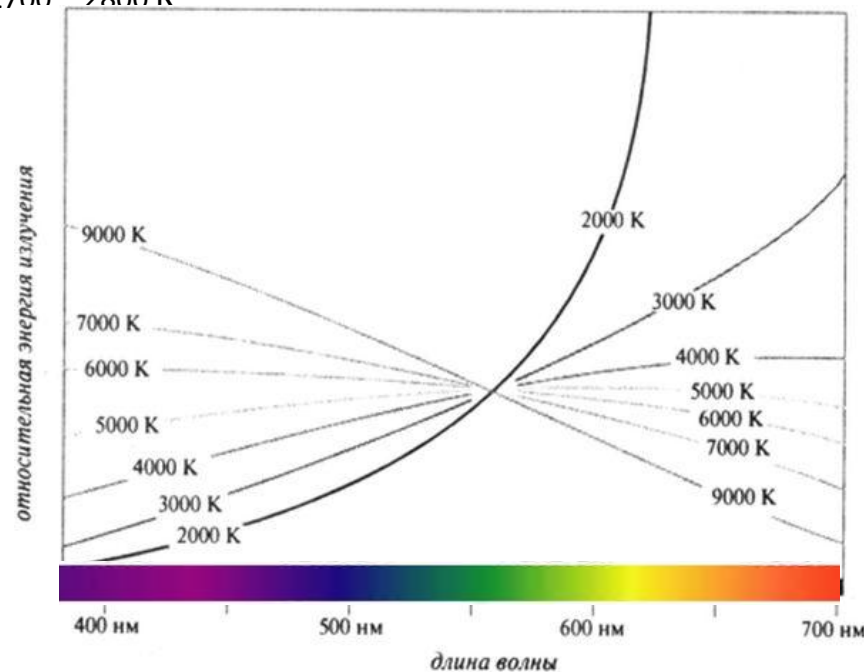
Цветовая температура – температура абсолютно черного тела, при которой оно испускает излучение того же цветового тона, что и рассматриваемый источник света.

Лампы накаливания $T_c = 2200 \dots 3250$ К

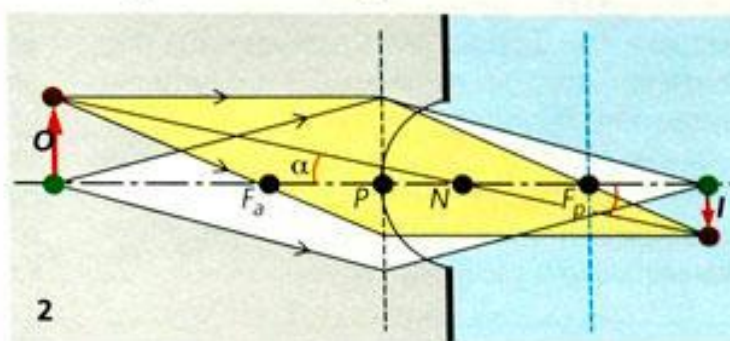
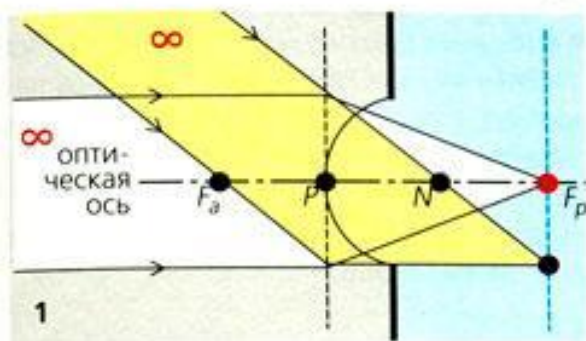
Маломощные лампы (10-25 Вт), очень желтые

Сверхмощные лампы с сильным перекалом (кино, фото)

Ходовые лампы 60...100 Вт имеют $T_c = 2700 \dots 2800$ К

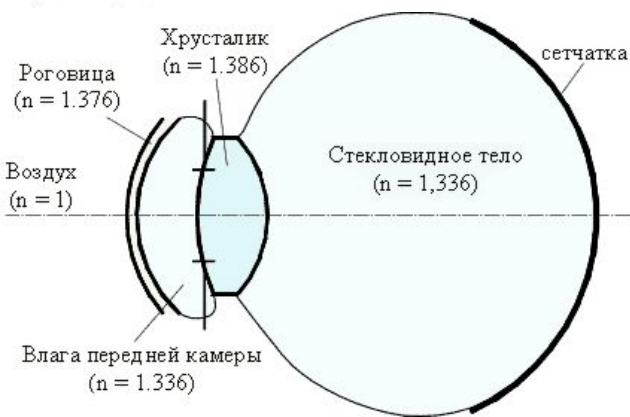


Коррелированная цветовая



Острота зрения

Формирование изображения удаленной (1) и ближней (2) точек: F_a – передний фокус (в воздушной среде), F_p – задний фокус (внутри глаза), P – главная точка, N – узловая точка (обе внутри глаза). Лучи света, параллельные оптической оси сходятся в точке F_p . Лучи под углом к оси, то они образуют изображение в фокальной плоскости (рядом с F_p). Лучи света из ближней точки формируют



кальной плоскости.

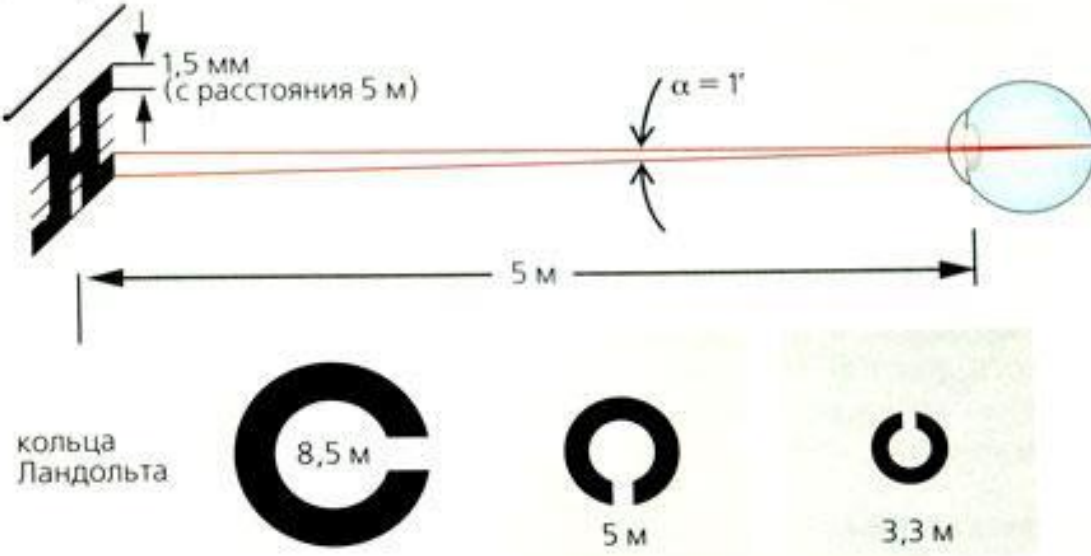
Глаз – это система линз, подчиняющихся законам

№	В состоянии покоя			В состоянии наибольшей аккомодации		
	пов-ти	радиус кривизны	осевое расстояние	радиус кривизны	осевое расстояние	показатель преломления
1		7,7	0,5	7,7	0,5	1,376
2		6,8	3,1	6,8	2,7	1,336
3		10,0	3,6	5,33	4,0	1,386
4		-6,0	15	-5,33	15	1,336

Оптическая сила $\Phi = 58$ дптр

Оптическая сила $\Phi = 70$ дптр

$$\Phi = \frac{1}{PF_p}$$



При хорошем освещении здоровый глаз должен быть способен различить две точки при том условии, что лучи света, испускаемые этими двумя точечными объектами, сходятся под углом α величиной в $1'$ ($1/60^\circ$). Острота зрения определяется как $1/\alpha$ (1/мин), и у лиц с нормальным зрением составляет $1/1$ (это соответствует расстоянию 1:3450).

Пример: Разрыв среднего кольца должно быть различимо с расстояния 5 м, разрыв левого кольца - с расстояния 8,5 м (А). Если разрыв левого кольца виден с расстояния 5 м, то острота зрения составляет $5/8,5 = 0,59$.

Пример: две точки на расстоянии 1,5 мм друг от друга и на расстоянии 5 м от глаз

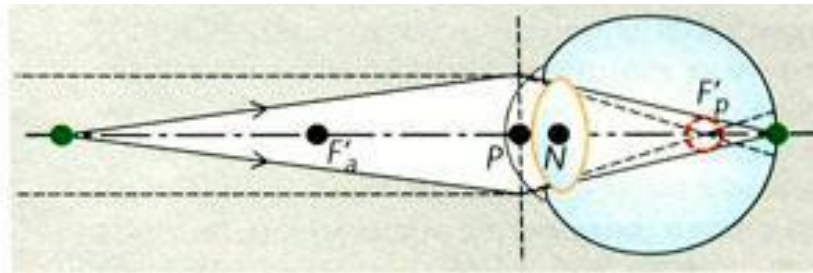
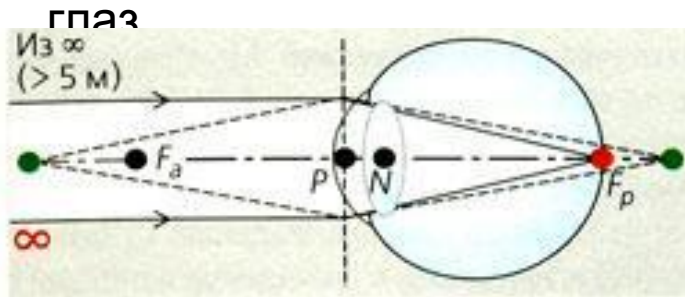
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1,5}{5000} \Rightarrow \alpha = 0,0175'' \gg 1'$$

Сводятся в фокус в 5 мкм от сетчатки. Если зрение нормальное, эти две точки различаются, поскольку 5 мкм соответствует диаметру трех колбочек в ямке (две из них стимулируются, а третья -

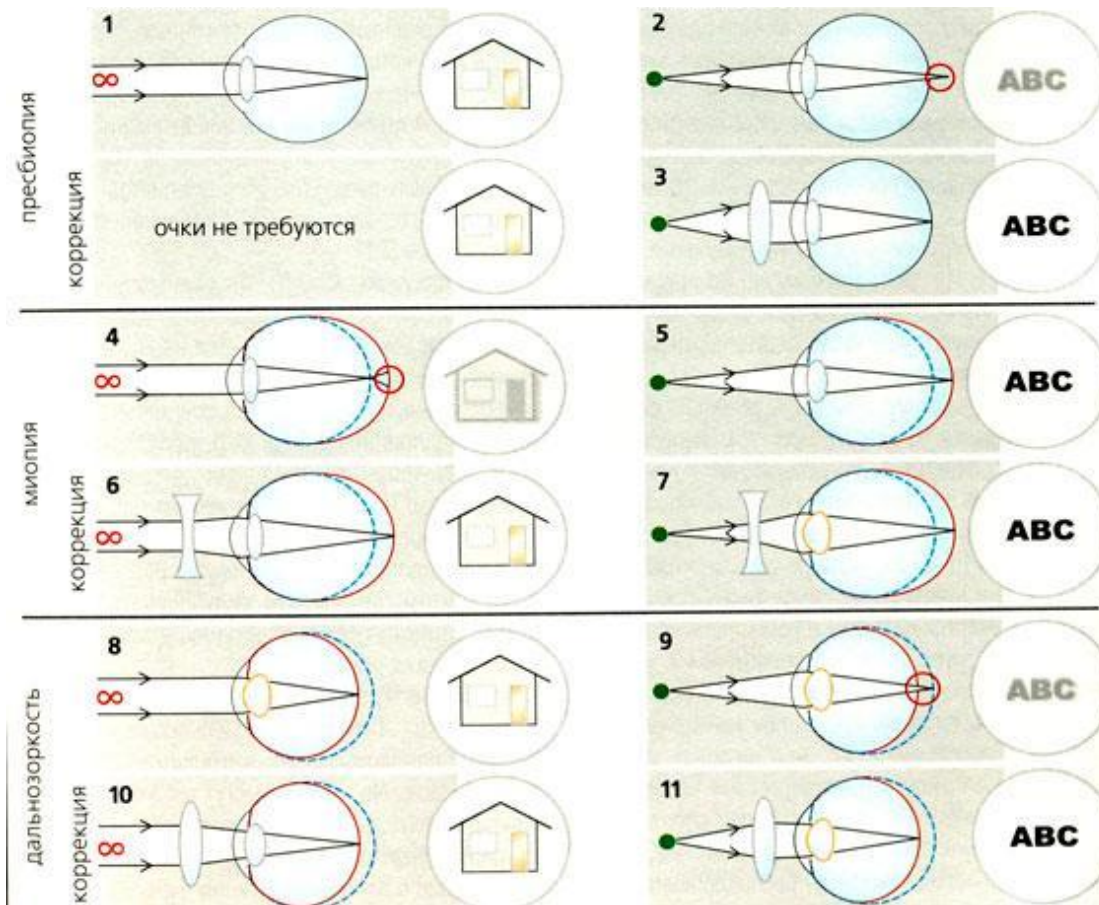
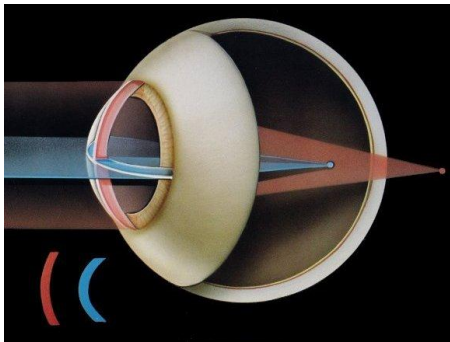


Аккомодация глаза для дальнего (слева) и ближнего (справа) зрения

Аккомодация



1. **Пресбиопия** (старческая дальнозоркость) – потеря эластичности хрусталика.
2. **Миопия** (близорукость) – глазное яблоко слишком вытянуто, коррекция вогнутыми линзами ($\Phi < 0$).
3. **Гиперопия** (дальнозоркость) – глазное яблоко сплюснутое, коррекция выпуклыми линзами ($\Phi > 0$).
- Астигматизм – разная кривизна роговицы по вертикали и горизонтали



Задачи учета оптических свойств глаза

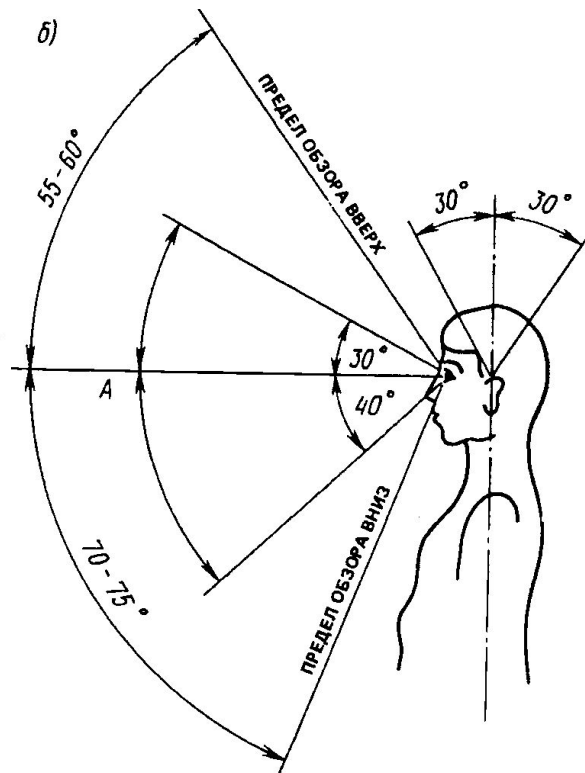
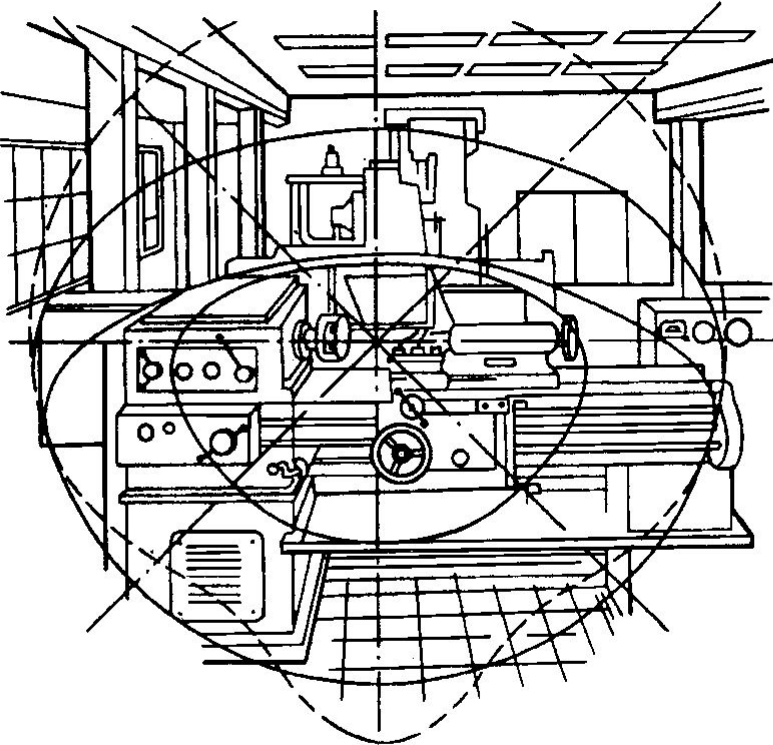
Не допустить оптические обманы,
искажения масштаба, пропорций и т.

д.

При проектировании:

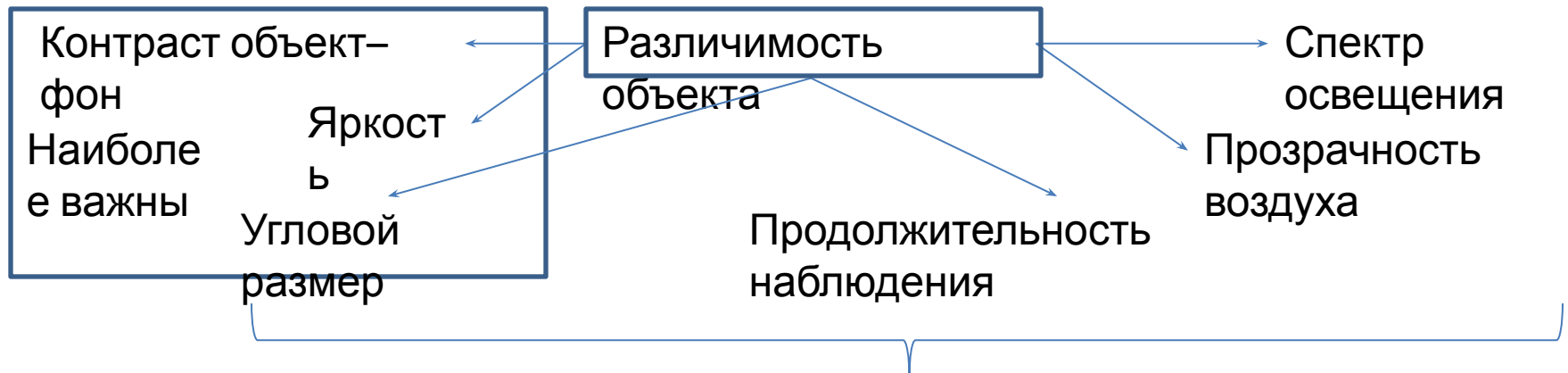
1. Проектирование оборудования.
2. Проверка правильности восприятия (макетирование, 3D-

Использовать оптические иллюзии для
создания эффекта (увеличение глубины
пространства, света и т.д.)



Углы зрения в
горизонтальной
и вертикальной
плоскости
А – зона
активного
видения

Поле зрения при бинокулярном
зрении



Факторы, формирующие световую среду

Подходы учета:

1. Фиксируем значения пяти факторов и определяем пороговые значения по шестому.
2. Комплексное влияние.

1. **Контраст объект-фон** оценивается по яркости объекта и фона: $\Delta L = L_o - L_\phi$
 ΔL – разностный порог; $\Delta L_{\min}$ – пороговый контраст; $1/\Delta L_{\min}$ – контрастная чувствительность глаза

Для глаза: $\frac{\Delta L}{L} = \text{const}$ – закон Вебера-Фехнера

По закону Вебера-Фехнера, светлота: фотометрическая яркость, c – коэффициент пропорциональности

$$B = c \cdot \lg L$$

Яркостный контраст:

Светлота – яркость, субъективно воспринимаемая глазом.

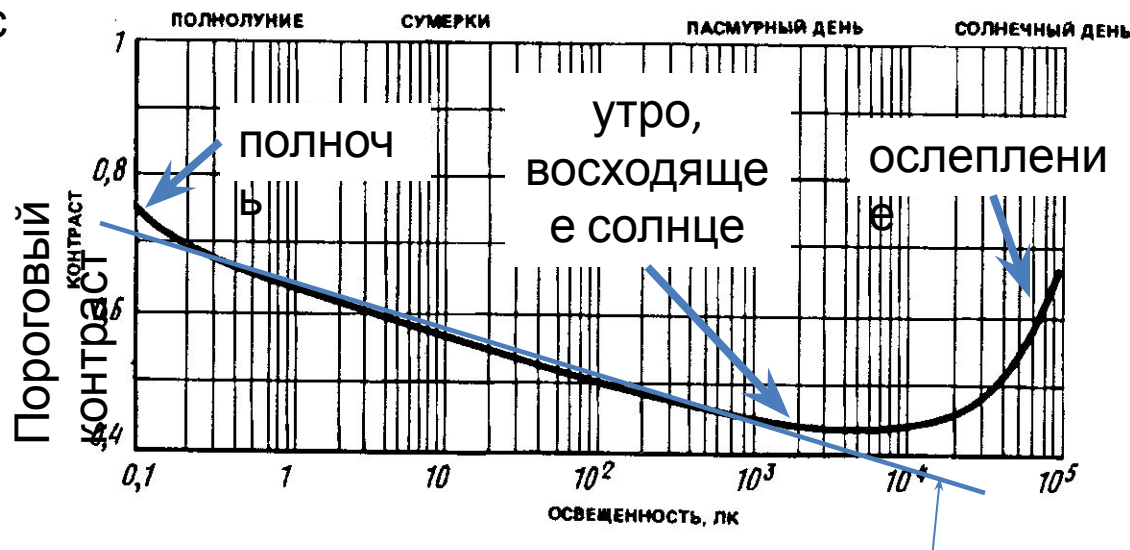
$$K = \begin{cases} \frac{L_1 - L_2}{L_1} & \text{при } L_1 > L_2 \\ \frac{L_2 - L_1}{L_2} & \text{при } L_2 > L_1 \end{cases}$$

0,2 0,5 контраст

малый средний большой

2.

Яркость в таких освещенностях глаз может воспринимать 1-2% изменение яркости, при низких, например, в лунную ночь – не менее 55%.



По закону Вебера-Фехнера

Вуалирующее действие сетчатки глаза (аналогично шуму) – невидимость далеких объектов, даже если они имеют $\Delta L > \Delta L_{\text{пор}}$



А. И. Куинджи. Украинская ночь. 1876

Причины:

1. Уменьшение углового размера.
2. Влияние прозрачности воздуха (надо считать не ΔL , а $t\Delta L$).

3. **Угловой размер** = $f(\text{яркость, контраст, форма детали, спектральный состав света})$

Кроме контраста имеет значение и знак контраста: положительный контраст имеет меньшую остроту различения она усиливается при адаптации наблюдателя к темноте.

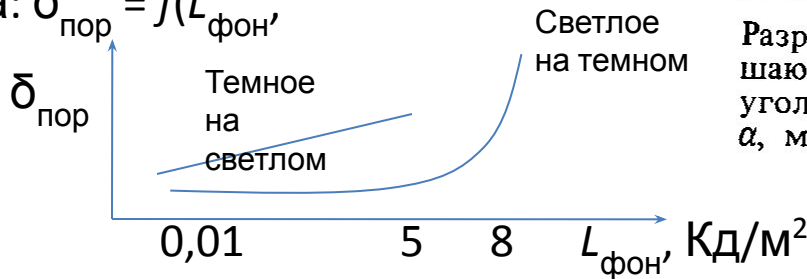
Усложнение формы повышает требование к остроте различения (чем сложнее деталь, тем она должна иметь: большую яркость, угловой размер, пороговый контраст)

Угловой размер – более физиологическая величина, для расчетов используется

глубина δ :

$$\delta_{\text{пор}} = \frac{b \cdot \Delta l}{\ell}$$
 b – расстояние между зрачками, ℓ – расстояние от объекта до наблюдателя, Δl – различаемое расстояние.

В.Г. Самсонова: $\delta_{\text{пор}} = f(L_{\text{фон}})$



Зависимость разрешающего угла от яркости

Показатель	При яркости объекта, кд/м²								
	неба, фасадов, дорог ночью			подсвеченных фасадов		стен в помещениях			
	0,0003	0,003	0,03	0,3	3	30	170	300	
Разрешающий угол α , мин	17	9	3	1,5	0,9	0,8	0,8	0,7	

Зависимость между яркостью света, светлотой и яркостью адаптации проводится с помощью диаграммы Гусева-Хорошилова

Шкала I – яркости или отношение яркостей двух поверхностей.

Шкала II – светлота или отношение светлот двух поверхностей

Шкала III и IV – значения яркостей, к которым адаптируется глаз.

На шкалах I, II и III яркость объекта наблюдения, светлота объекта и яркость адаптации ложатся на одну прямую.

На шкалах I, II и IV отношения яркостей и светлот и яркость адаптации на одной прямой.

Пример 1: яркость адаптации 10 кд/м², яркость стены 100 кд/м², определить светлоту стены (прямая А) – светлота стены 30 единиц.

Пример 2: яркость адаптации 10 кд/м², отношение светлот ватмана и кульмана 10:1, найти отношение яркостей (прямая Б) – отношение яркостей 60.

