Цвет – это то, что кажется…

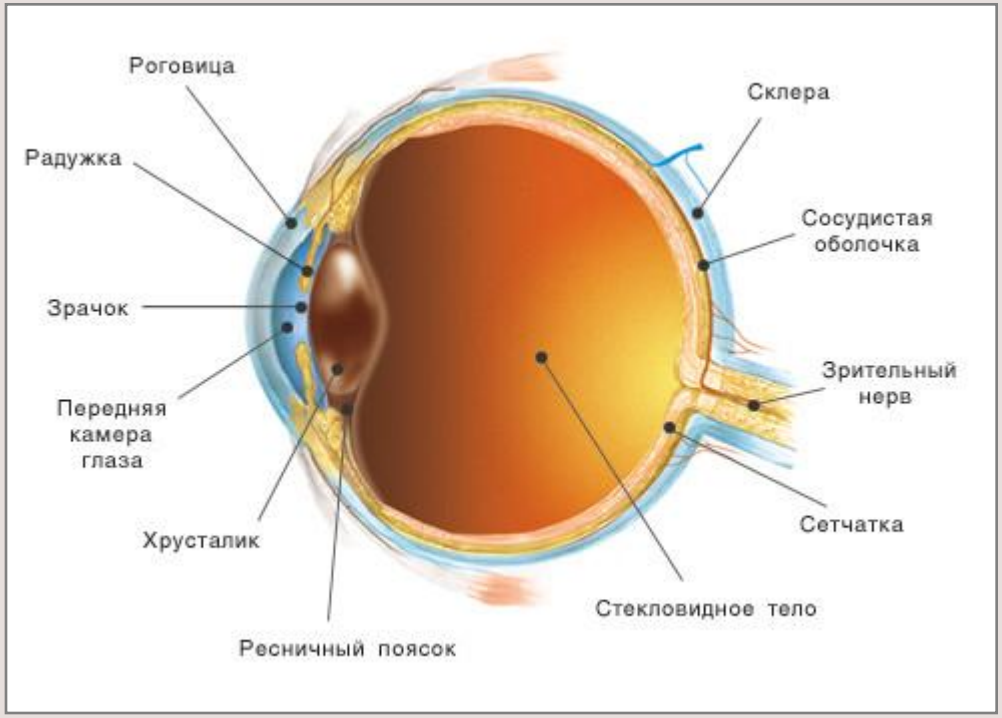
Фейнмановские лекции по физике

Цвет

- Цветовое зрение
- Измерение восприятия цвета
- Диаграмма цветности
- Цветовой охват
- Цветовые модели
- Инструменты управления цветом в системах графического дизайна

Лукьянович И.Р.

Строение глаза человека



Основная задача -"передать" правильное изображение зрительному нерву. Структуры глаза выполняют разные функции:

- оптической системы, проецирующей изображение;
- системы, воспринимающей и "кодирующей" полученную информацию для головного мозга;
- "обслуживающей" системы жизнеобеспечения.

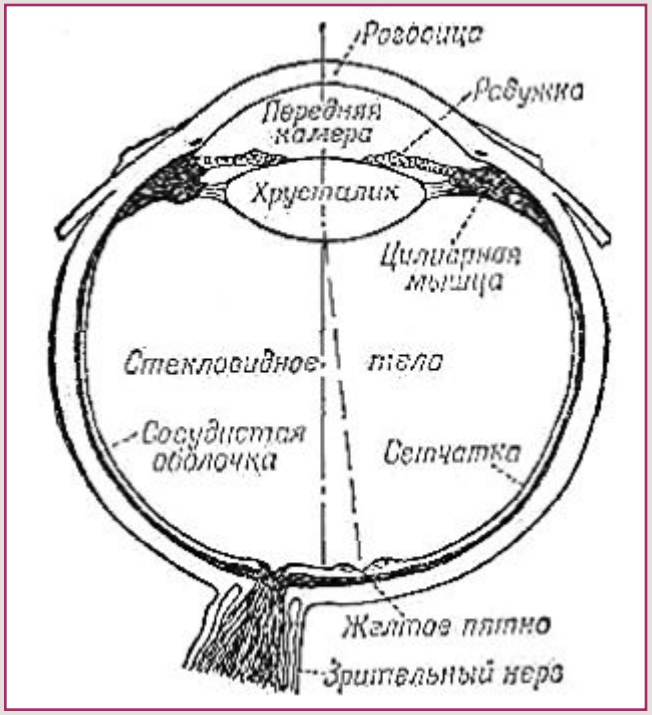
Роговица - прозрачная оболочка, покрывающая переднюю часть глаза.

В ней отсутствуют кровеносные сосуды, она имеет большую преломляющую силу. Входит в оптическую систему глаза. Роговица граничит с непрозрачной внешней оболочкой глаза - **склерой**.

Передняя камера глаза - это пространство между роговицей и радужкой. Она заполнена внутриглазной жидкостью.

http://www.excimerclinic.ru/files/zritelnaya_sistema.asp?m_id=12

Строение глаза человека



«Мозг выдумал, как ему взглянуть на мир».

Свет через роговицу попадает в глаз, преломляется и отображается на сетчатке.

Желтое пятно = центральная ямка. В этом участке острота зрения особенно велика.

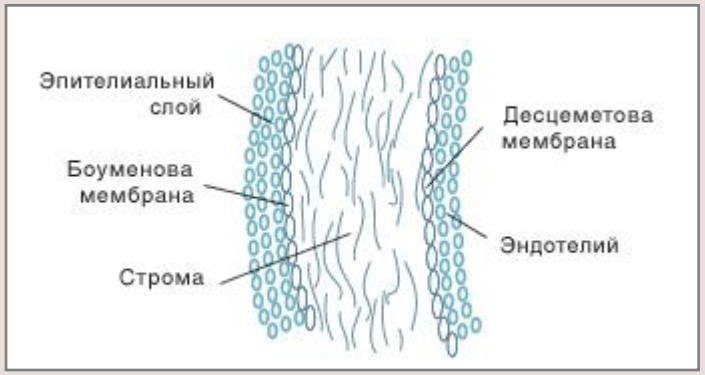
Слепое пятно – в этом месте сетчатка не имеет чувствительности к свету.

- **Радужка** - по форме похожа на круг с отверстием внутри (зрачком). Радужка состоит из мышц, при сокращении и расслаблении которых размеры зрачка меняются. Она входит в сосудистую оболочку глаза. Радужка отвечает за цвет глаз (если он голубой - значит, в ней мало пигментных клеток, если карий - много). Выполняет ту же функцию, что диафрагма в фотоаппарате, регулируя светопоток.
- **Зрачок** - отверстие в радужке. Его размеры обычно зависят от уровня освещенности. Чем больше света, тем меньше зрачок.
- **Хрусталик** - "естественная линза" глаза. Он прозрачен, эластичен - может менять свою форму, почти мгновенно "наводя фокус", за счет чего человек видит хорошо и вблизи, и вдали. Располагается в капсуле, удерживается **ресничным пояском**. Хрусталик, как и роговица, входит в оптическую систему глаза.
- **Стекловидное тело** - гелеобразная прозрачная субстанция, расположенная в заднем отделе глаза. Стекловидное тело поддерживает форму глазного яблока, участвует во внутриглазном обмене веществ. Входит в оптическую систему глаза.
- **Сетчатка** - состоит из фоторецепторов (они чувствительны к свету) и нервных клеток. Клетки-рецепторы, расположенные в сетчатке, делятся на два вида: колбочки и палочки. В этих клетках, вырабатывающих фермент родопсин, происходит преобразование энергии света (фотонов) в электрическую энергию нервной ткани, т.е. фотохимическая реакция.

- **Палочки** обладают высокой светочувствительностью и позволяют видеть при плохом освещении, также они отвечают за периферическое зрение. Колбочки, наоборот, требуют для своей работы большего количества света, но именно они позволяют разглядеть мелкие детали (отвечают за центральное зрение), дают возможность различать цвета. Наибольшее скопление колбочек находится в центральной ямке (макуле), отвечающей за самую высокую остроту зрения. Сетчатка прилегает к сосудистой оболочке, но на многих участках неплотно. Именно здесь она и имеет тенденцию отслаиваться при различных заболеваниях сетчатки.
- **Склера** - непрозрачная внешняя оболочка глазного яблока, переходящая в передней части глазного яблока в прозрачную роговицу. К склере крепятся 6 глазодвигательных мышц. В ней находится небольшое количество нервных окончаний и сосудов.
- **Сосудистая оболочка** - выстилает задний отдел склеры, к ней прилегает сетчатка, с которой она тесно связана. Сосудистая оболочка ответственна за кровоснабжение внутриглазных структур. При заболеваниях сетчатки очень часто вовлекается в патологический процесс. В сосудистой оболочке нет нервных окончаний, поэтому при ее заболевании не возникают боли, обычно сигнализирующие о каких-либо неполадках.
- **Зрительный нерв** - при помощи зрительного нерва сигналы от нервных окончаний передаются в головной мозг.

Строение роговицы

- Знание строения роговицы особенно пригодится тем, кто хочет понять, как проходит эксимер-лазерная коррекция и почему она проходит именно так, и тем, кому предстоит операция на роговице.
- **Эпителиальный слой** - поверхностный защитный слой, при повреждении восстанавливается. Так как роговица - бессосудистый слой, то за "доставку кислорода" отвечает именно эпителий, забирающий его из слезной пленки, которая покрывает поверхность глаза. Эпителий также регулирует поступление жидкости внутрь глаза.
- **Боуменова мембрана** - расположена сразу под эпителием, отвечает за защиту и участвует в питании роговицы. При повреждении не восстанавливается.

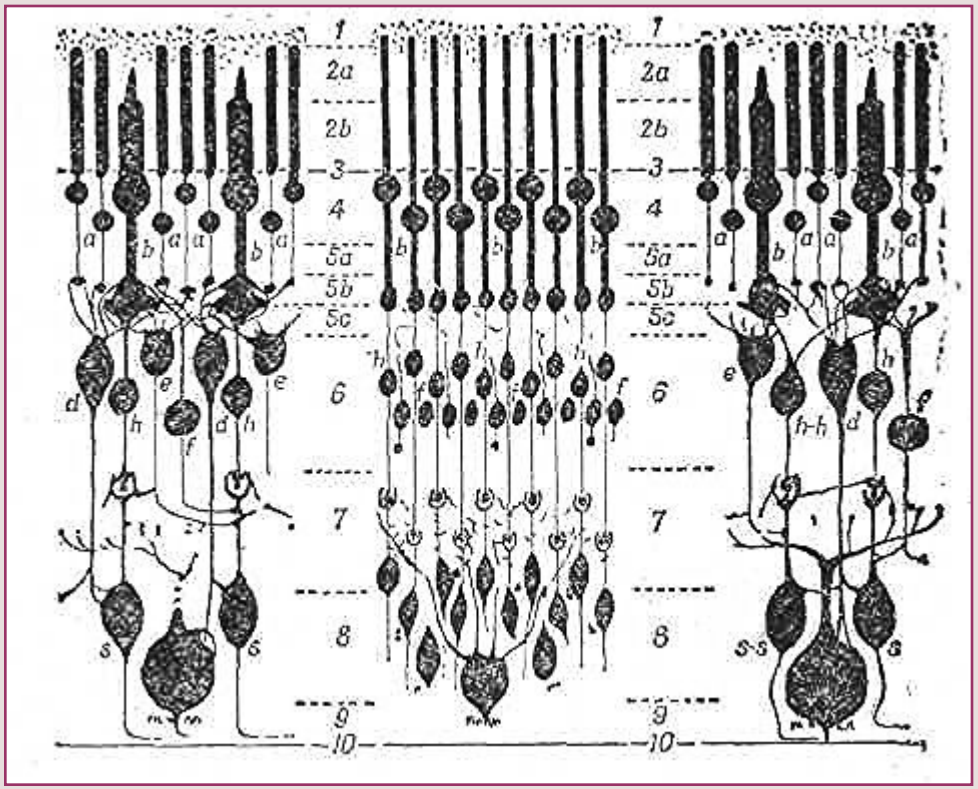


Строма - наиболее объемная часть роговицы. Основная ее часть - коллагеновые волокна, расположенные горизонтальными слоями. Также содержит клетки, отвечающие за восстановление.

Строение роговицы

- **Десцеметова мембрана** - отделяет строму от эндотелия. Обладает высокой эластичностью, устойчива к повреждениям.
- **Эндотелий** - отвечает за прозрачность роговицы и участвует в ее питании. Очень плохо восстанавливается. Выполняет очень важную функцию "активного насоса", отвечающего за то, чтобы лишняя жидкость не скапливалась в роговице (иначе произойдет ее отек). Таким образом эндотелий поддерживает прозрачность роговицы.
- Количество эндотелиальных клеток в течение жизни постепенно снижается от 3500 на мм2 при рождении до 1500 - 2000 клеток на мм2 в пожилом возрасте. Снижение плотности этих клеток может происходить из-за различных заболеваний, травм, операций и т.д. При плотности ниже 800 клеток на мм2 роговица становится отечной и теряет свою прозрачность. Шестым слоем роговицы часто называют **слезную пленку** на поверхности эпителия, которая также играет значительную роль в оптических свойствах глаза.

Структура сетчатки



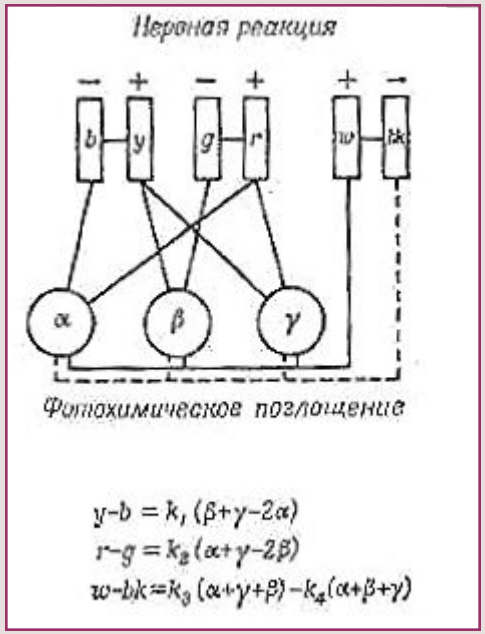
Свет входит снизу.

На периферии располагаются в основном палочки, в центре (желтое пятно) – колбочки.

Все чувствительные к свету клетки не связаны со зрительным нервом непосредственно, а соединены с другими клетками, которые связаны между собой.

Другие типы клеток выполняют функции переноса информации зрительному нерву. Информация не сразу поступает в мозг, а частично «осмысливается» сетчаткой.

Механизм зрения



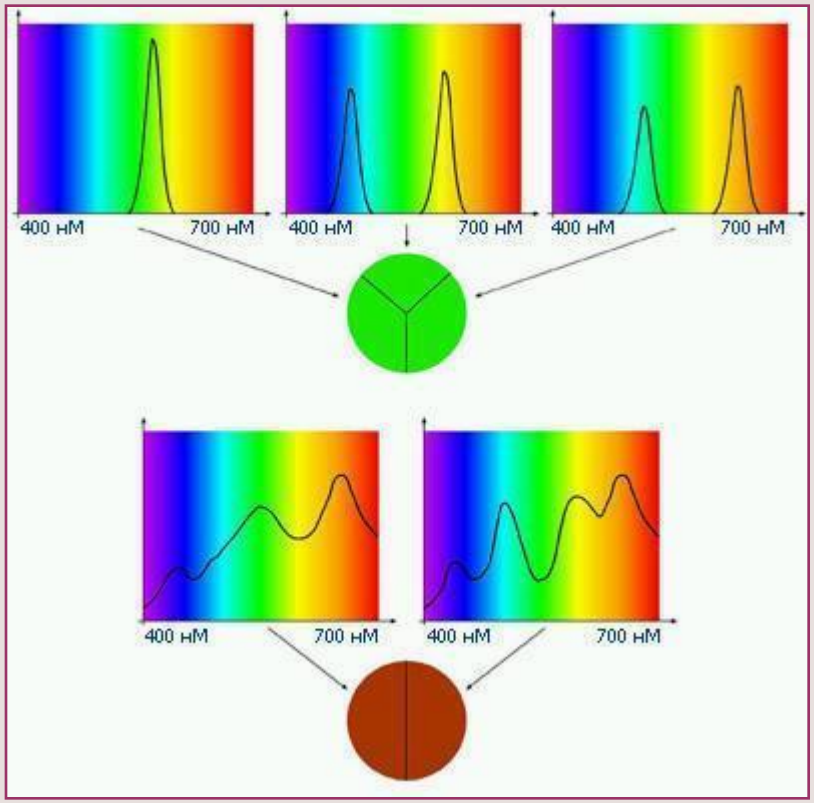
Нервные связи, согласно теории цветового зрения b-голубой, y- желтый, g-зеленый, r-красный, w-белый,bk-черный

Сетчатка не что иное, как часть самого мозга (в структурном и этимологическом отношении).

Прежде чем передать мозгу сигнал, сетчатка производит часть вычислений в трех слоях клеток. Затем результат вычислений передается по зрительному нерву в мозг. Факт/предположение, что существует 3 основных сорта пигмента не означает, что должно быть три сорта ощущений.

Другая теория цветового зрения. **Психологи**: существует четыре *кажущихся* чистых цвета – голубой, желтый, зеленый, красный, в том смысле, что ни один из них не принимает участия в образовании других.

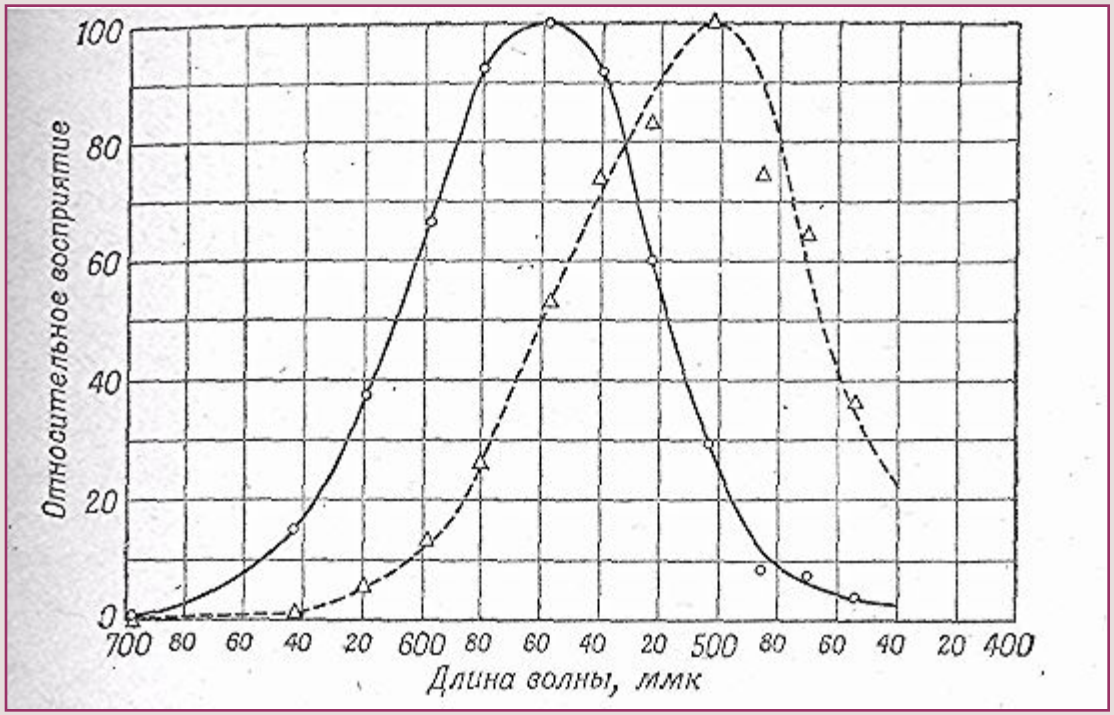
Цвет и спектральные распределения



Одинаковые цветовые ощущения могут быть вызваны светом различного спектрального состава.

Цвет — это ощущение, которое возникает в сознании человека при воздействии на его зрительный аппарат электромагнитного излучения с длиной волны в диапазоне от 380 до 760 нм.

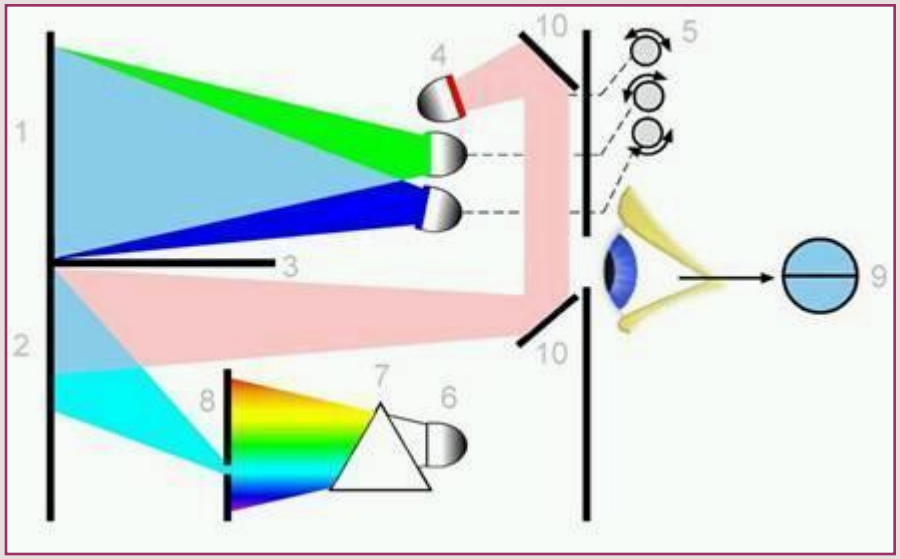
Кривая яркости



Спектральная чувствительность глаза

Сплошная кривая – на свету; пунктирная – в темноте. Эффект Пуркинье.

Измерение цветовых ощущений



$$B <> G + R$$

$$B + r_1 R = gG + bB$$

$$Y = rR + gG$$

1 — уравнивающий цвет на экране; 2 — уравниваемый цвет на экране; 3 — разделительная перегородка; 4 — источники белого света с фильтрами; 5 — регуляторы яркости; 6 — источник белого света: 7 — призма; 8 — шторка; 9 — поле, которое видит наблюдатель; 10 — зеркала, перенаправляющие световые потоки.

Основные законы колориметрии

- Колориметрия – наука, которая изучает цвет и его измерения.

Законы Г.Гроссмана

1. Любые четыре цвета находятся в линейной зависимости, хотя существует неограниченное число линейно независимых совокупностей этих цветов.

Любые три по-разному окрашенных пучка света могут образовывать какой угодно цвет, если смешать их в нужной пропорции

$X=a_1A+b_1B+c_1C$,

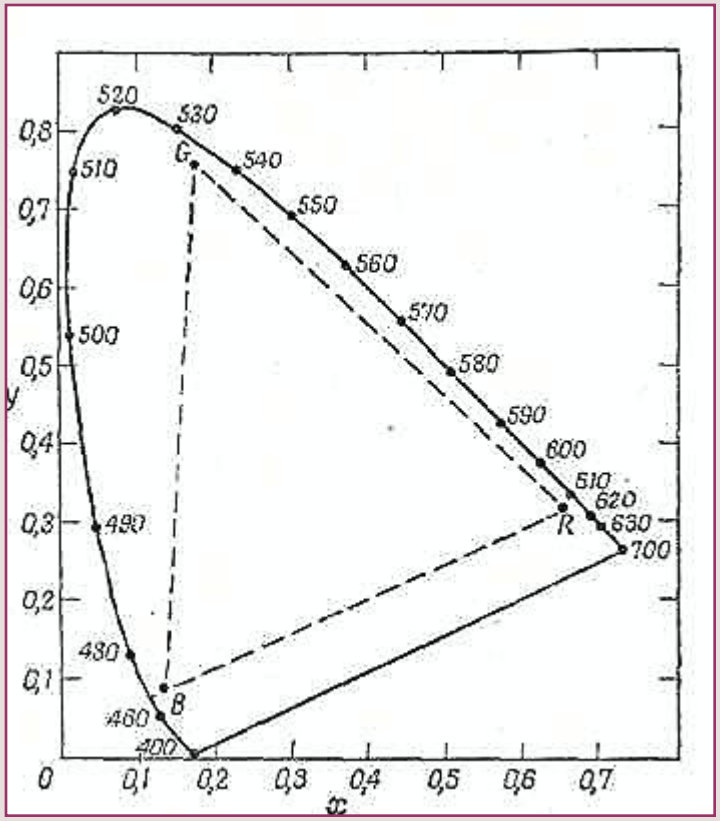
где A, B, C – линейно независимые цвета, a_1, b_1, c_1 – количества смешиваемых цветов.

2. Если в смеси трех цветовых компонент одна меняется непрерывно, в то время, как две другие остаются постоянными, цвет смеси также изменяется непрерывно.

$X=a_1A+b_1B+c_1C$, $Y=a_2A+b_2B+c_2C$, $Z=X+Y=(a_1+a_2)A+(b_1+b_2)B+(c_1+c_2)C$

3. Цвет смеси зависит только от цветов смешиваемых компонент и не зависит от их спектральных составов.

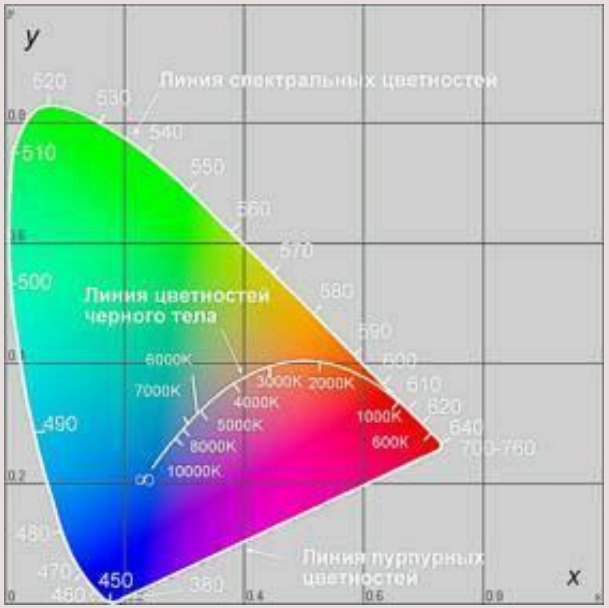
Диаграмма цветности



Если привести любой видимый свет к одной и той же интенсивности и затем спроецировать все построение в трехмерном пространстве на плоскость, получится фигура, называемая **стандартной диаграммой цветности**.

Треугольник RGB содержит все цвета, получаемые с **положительными** коэффициентами.

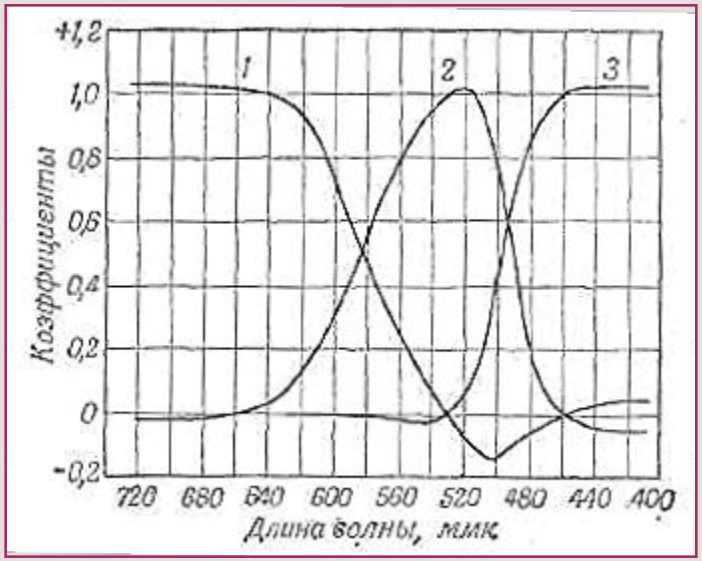
Диаграмма цветности



Проекция цветового пространства человека в ЦКС xyY на плоскость *xy* и цветовой охват идеального RGB устройства

Любой цвет, полученный смешением двух заданных цветов, изображается точкой, лежащей на линии, соединяющей эти цвета.

Трехцветные коэффициенты смешивания RGB



Цветовые коэффициенты чистых спектральных тонов для некоторого выбора основных цветов

1 – красный,

2 – зеленый,

3 – синий.

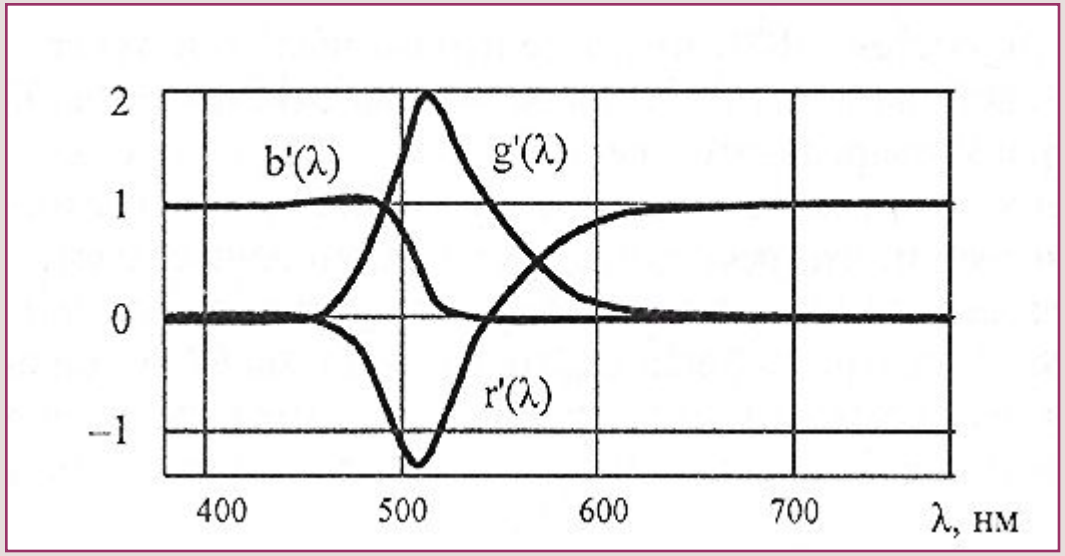
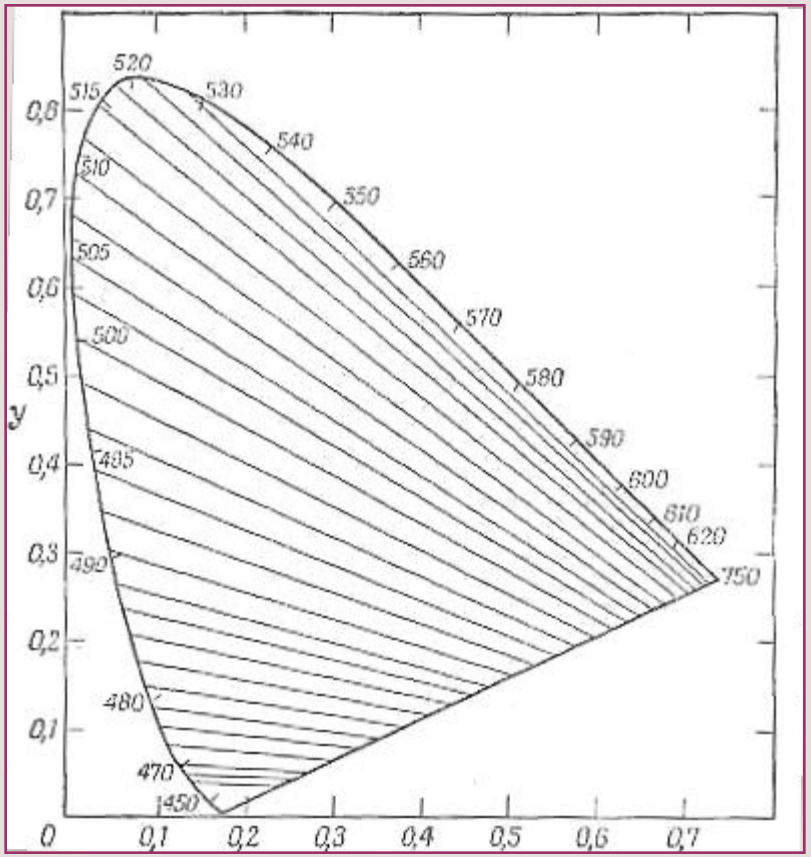
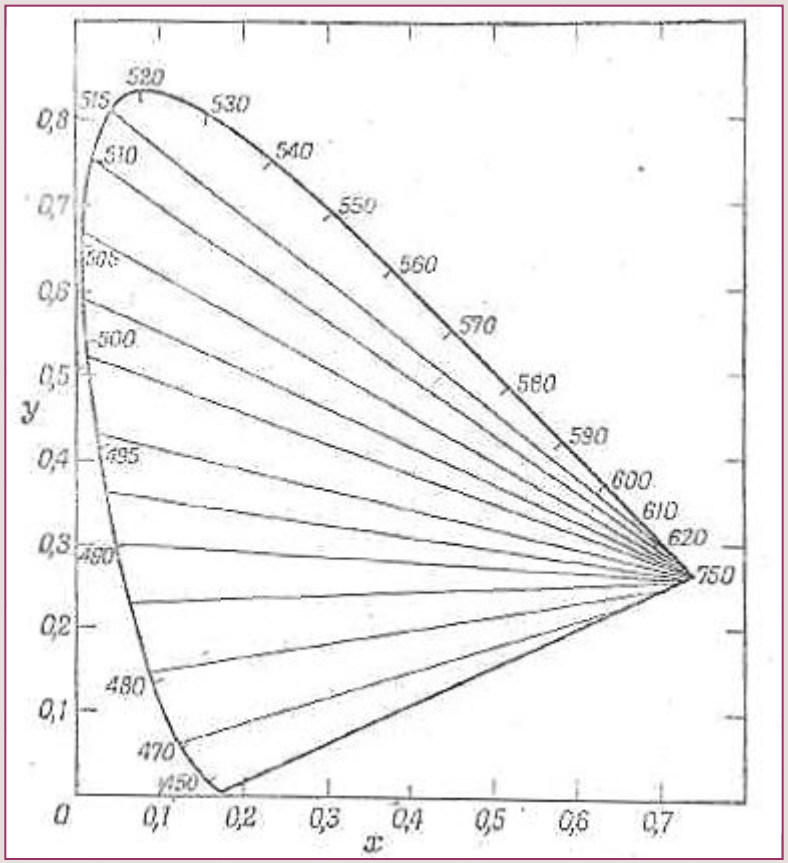


Диаграмма цветности у дихроматов



Смешение цветов у дейтеранопов



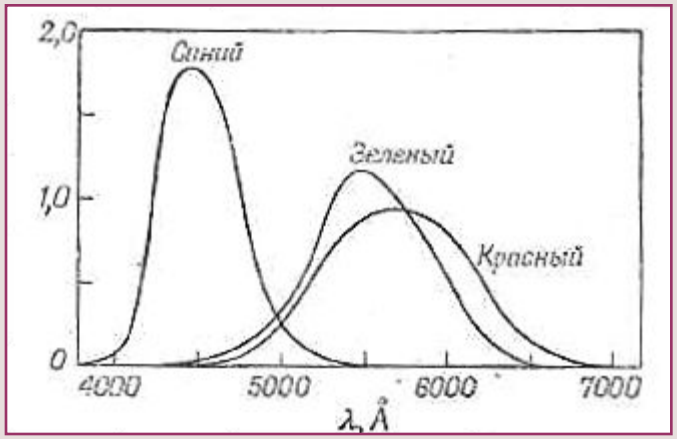
Смешение цветов у протанопов

Цветовой охват

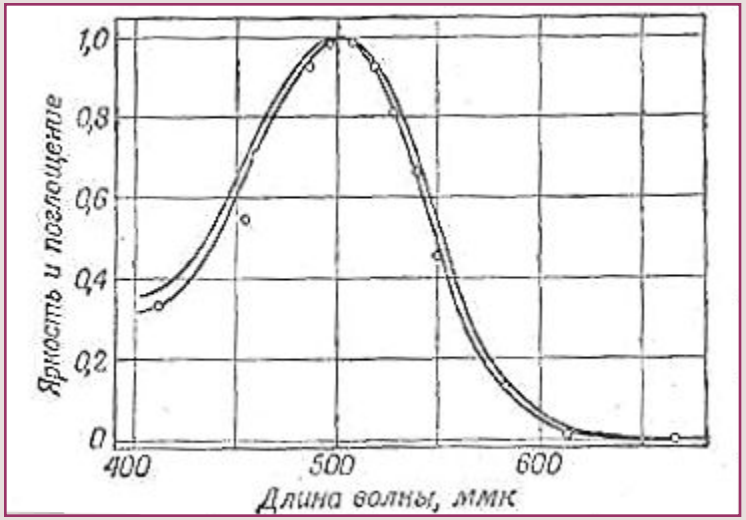
Фигура, приблизительно описывающая цветовое пространство человека в ЦКС L*a*b*

Цветовой охват офсетного печатного станка внутри цветового пространства человека (ЦКС L*a*b*)

Физико-химические свойства цветового зрения

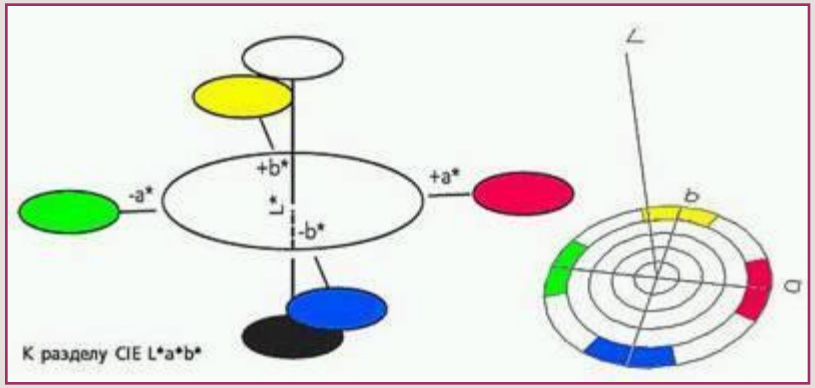


Кривые спектральной чувствительности для рецепторов(?), воспринимающих три (?) основных цвета.



Кривая чувствительности глаза при сумеречном зрении и кривая поглощения зрительного пурпура.

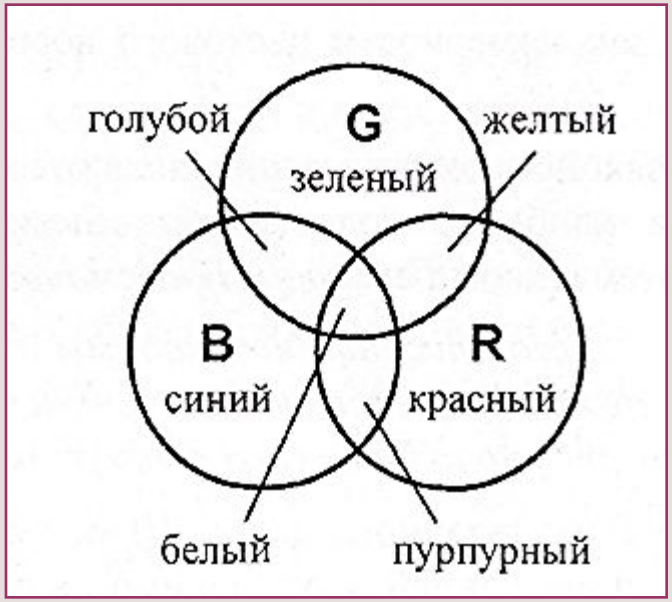
Модель Lab

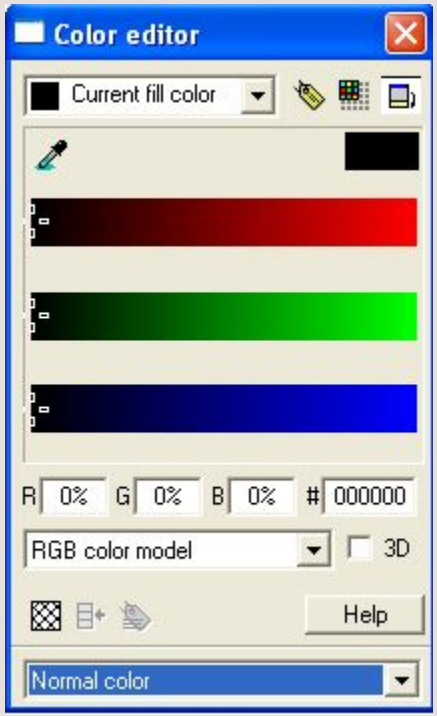


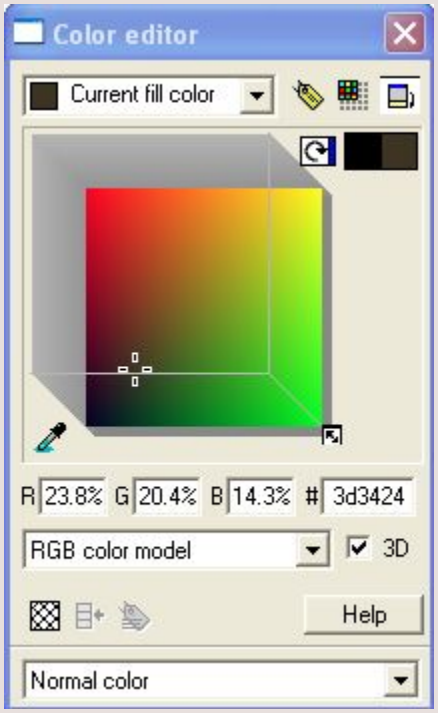
ЦКС L*a*b* в двух разных графических представлениях. Любой цвет определяется яркостью L и двумя хроматическими компонентами: а изменяется в диапазоне от зеленого до красного, b – диапазоне от синего до желтого. Параметры Lab изменяются от 0 до 255. В середине шкалы – серая тока.

CMS – система управления цветом. Ее цель – достижение одинаковых цветов отпечатков на всех этапах полиграфического процесса – от сканера до печатного станка. Сканер, монитор (RGB), фотонаборный и печатный станок (CMYK) работают на основе аппаратно-зависимых цветовых моделей. Необходим конвертер, стандарт, к которому приводятся цвета на всех этапах производства. Для этого используется **аппаратно-независимая** модель **Lab**

Модель RGB

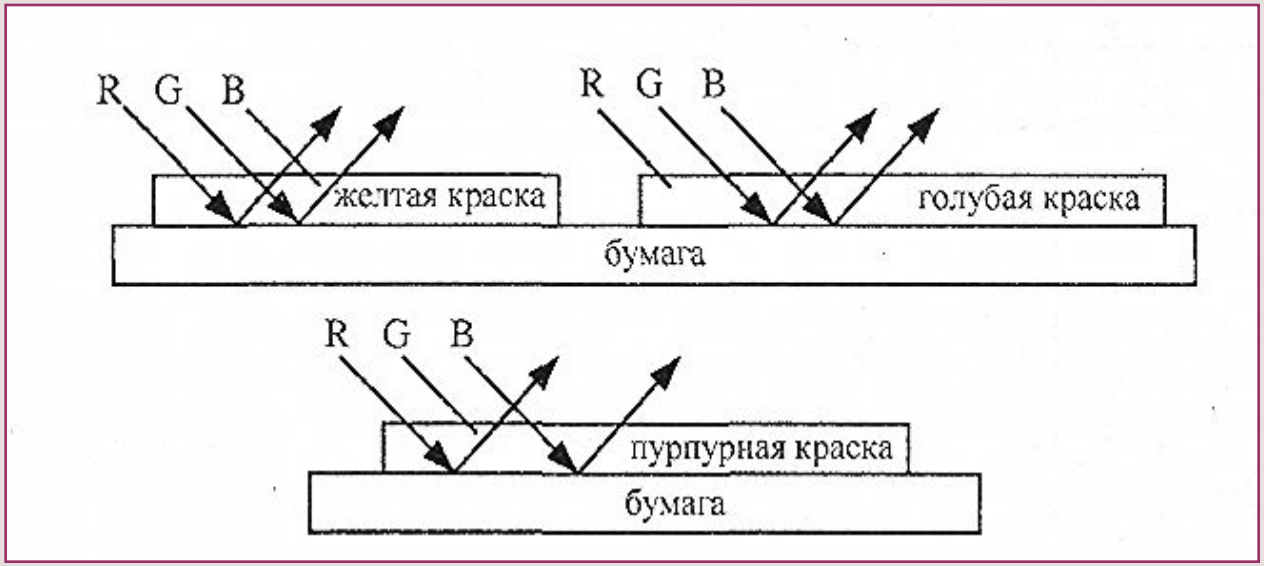


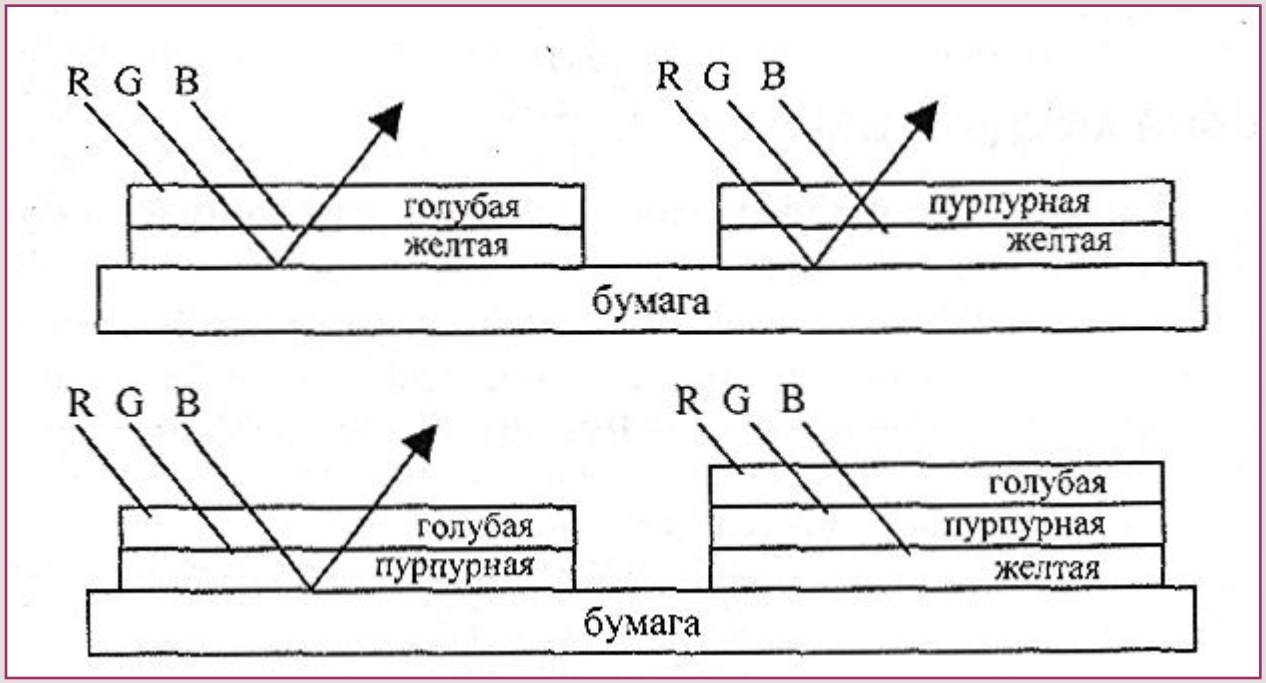




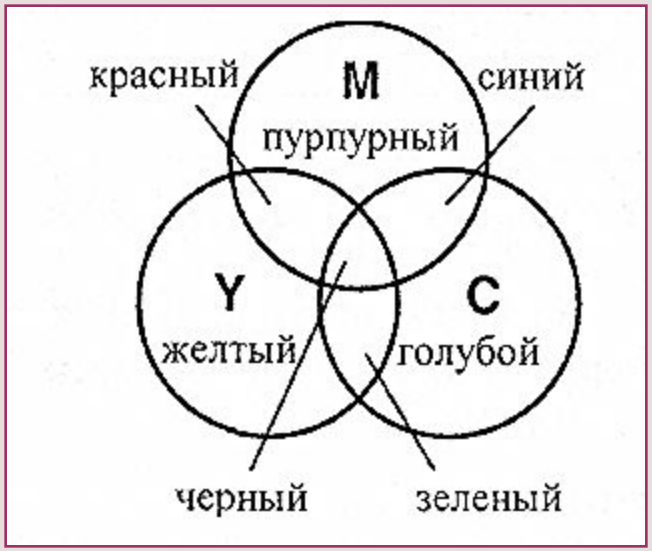
Аддитивная трехканальная модель. Описывает цвет излучающих предметов.

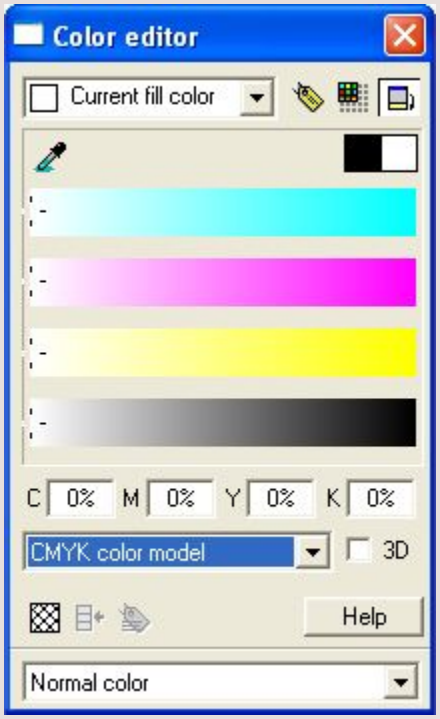
Получение цвета в субтрактивной модели

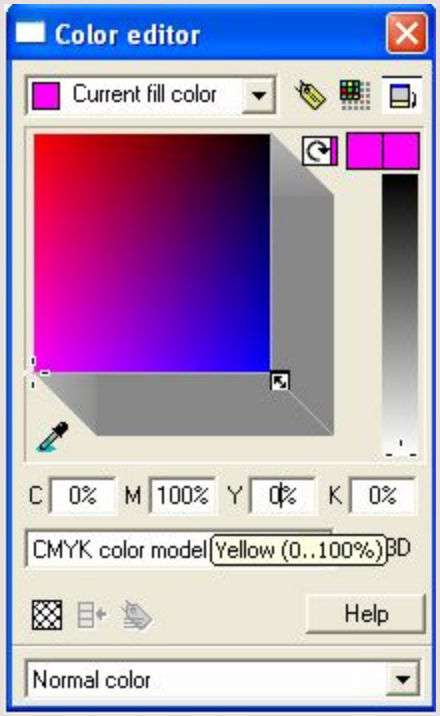




Модель CMY



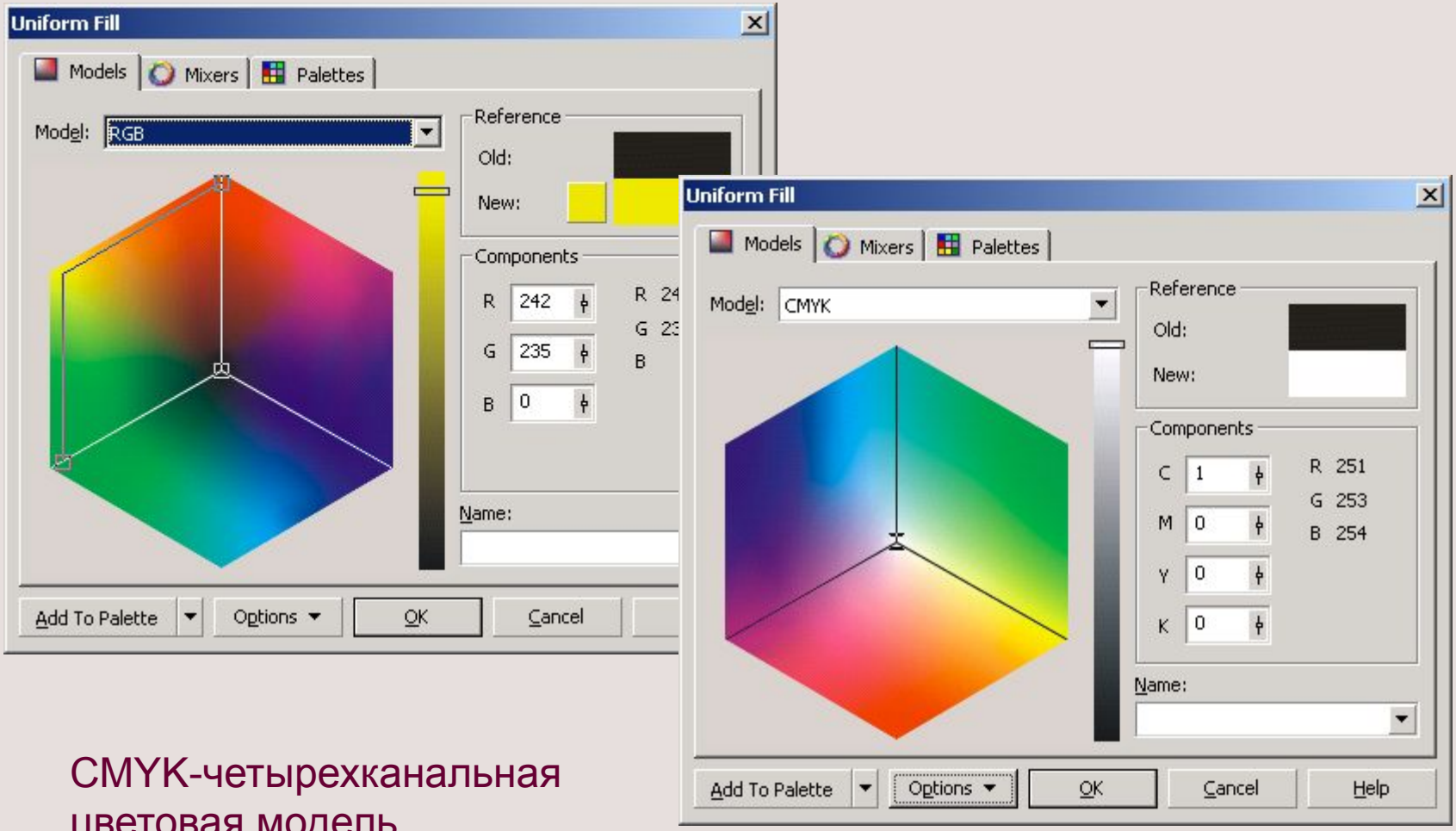




Субтрактивная модель. Полиграфическая триада.

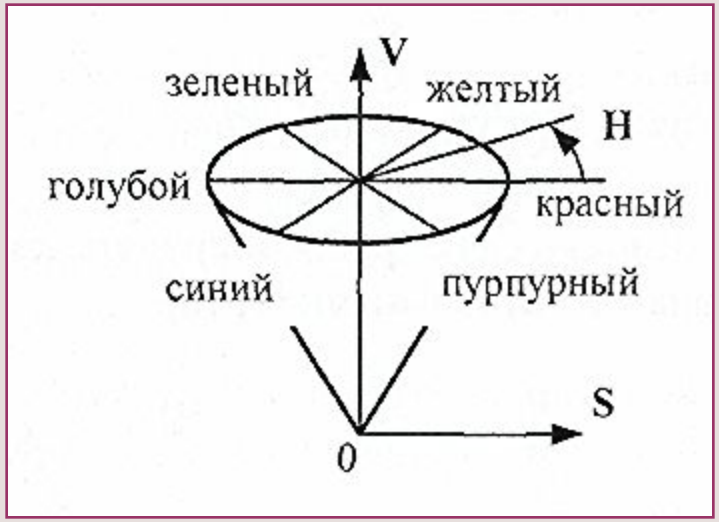
CMY+K=CMYK

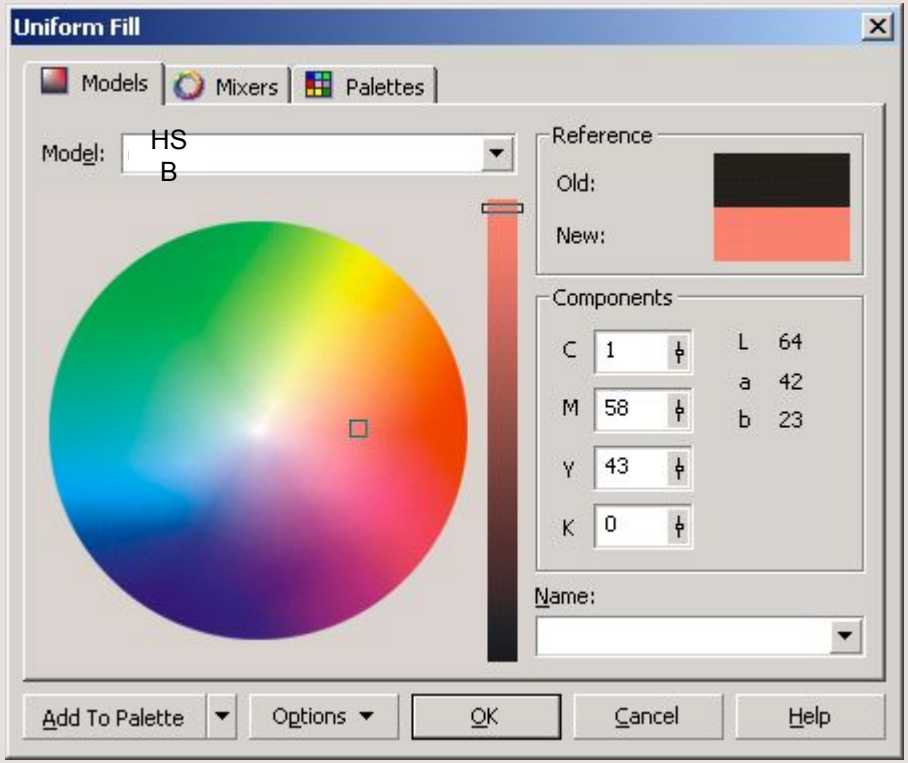
Инструменты работы с цветом в системах графического дизайна



CMYK-четырехканальная цветовая модель

Модель HSV





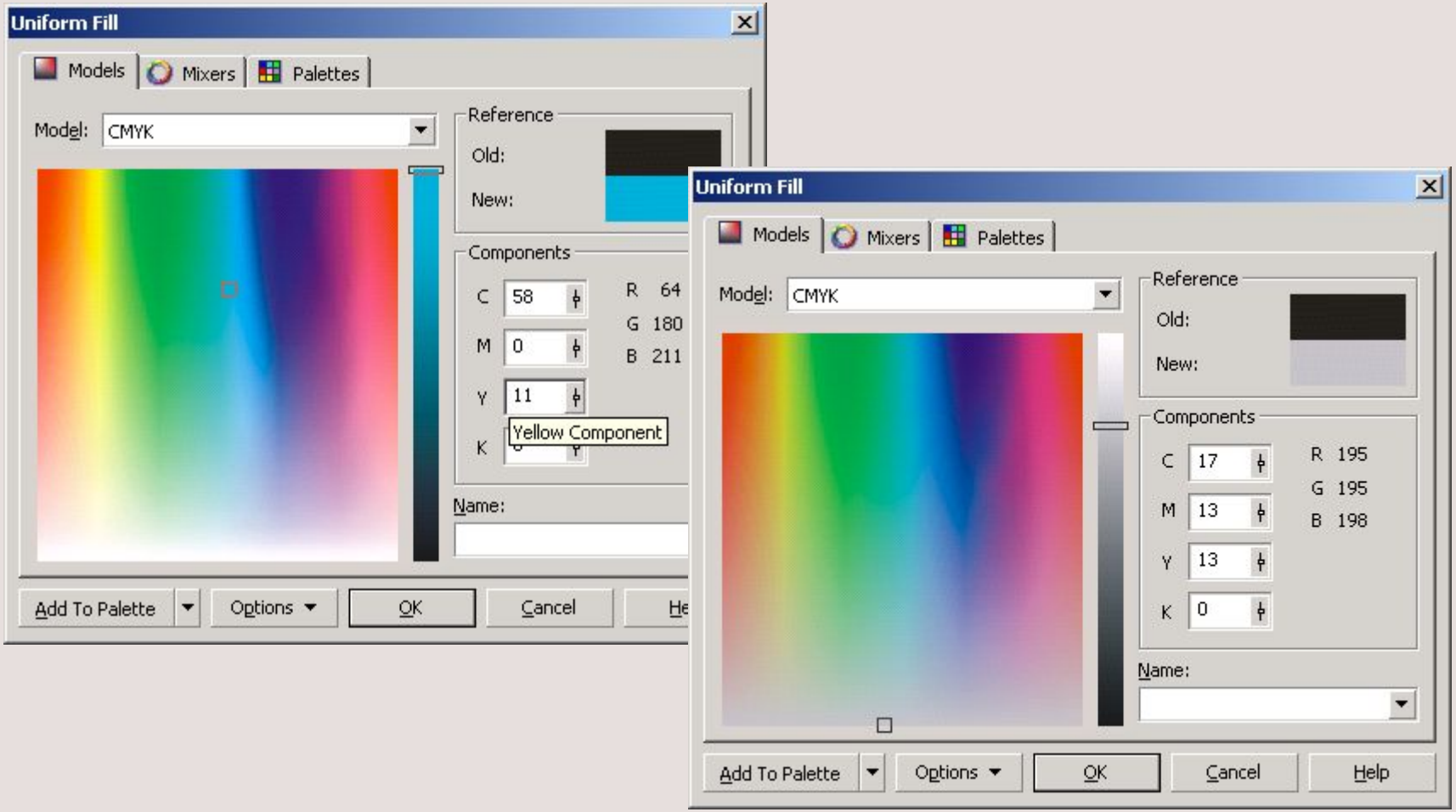
Hue - цветовой тон

Saturation - яркость

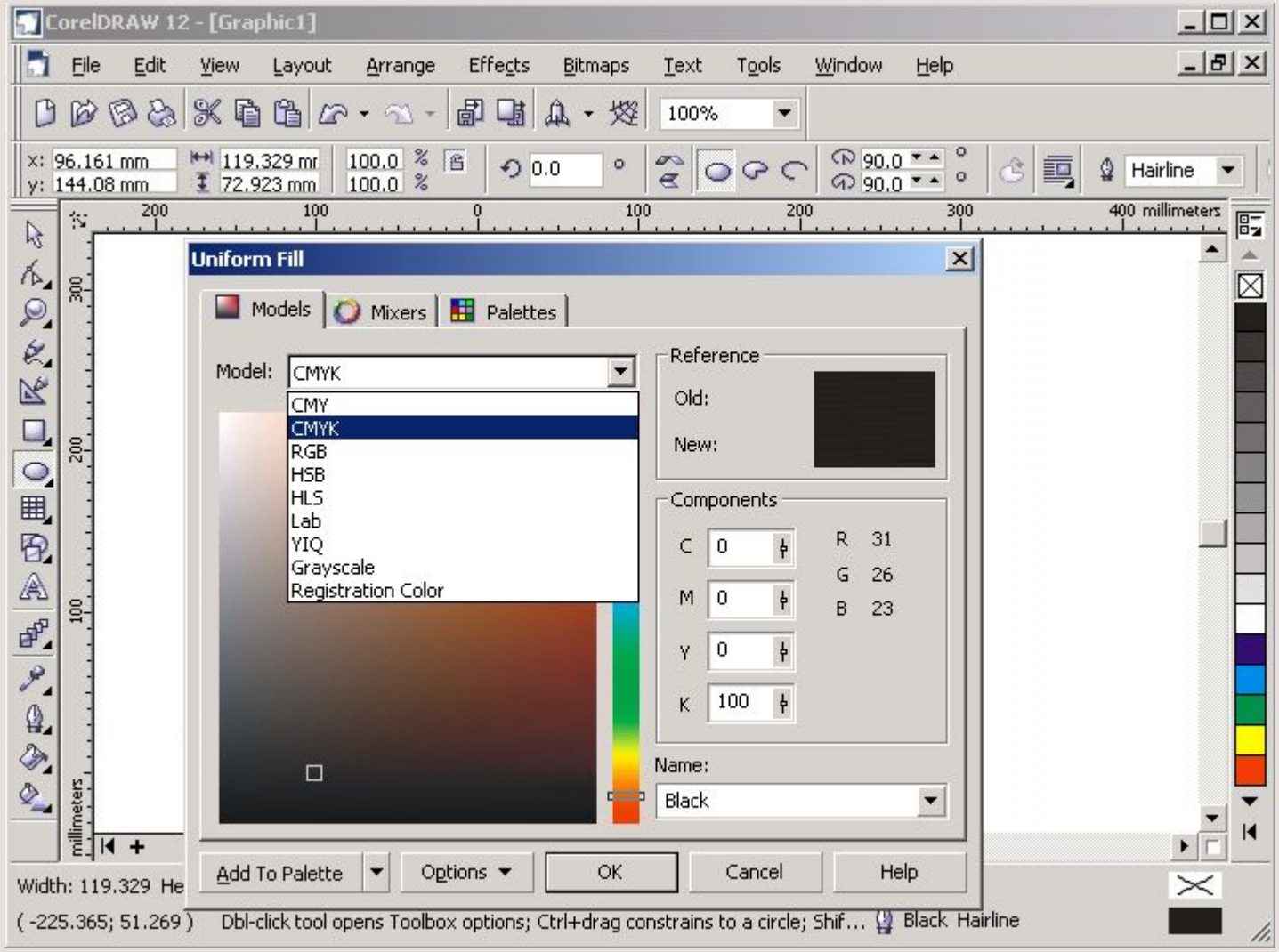
Value(Braitnis) - интенсивность

Наиболее близка человеческому восприятию. Модель компьютерных художников

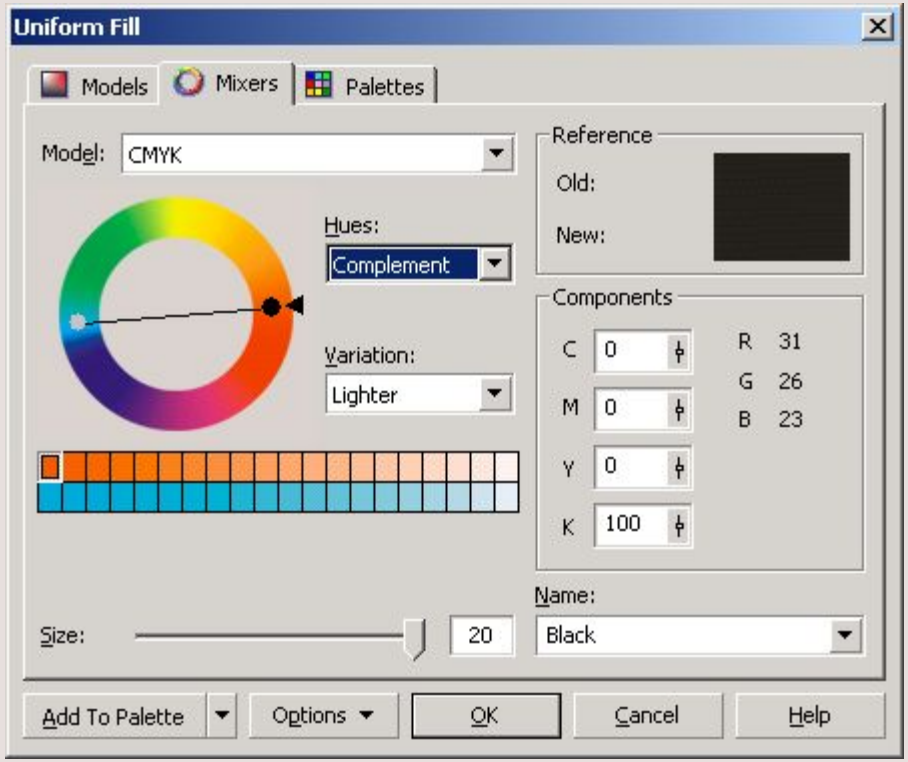
Инструменты работы с цветом в системах графического дизайна



Инструменты работы с цветом…

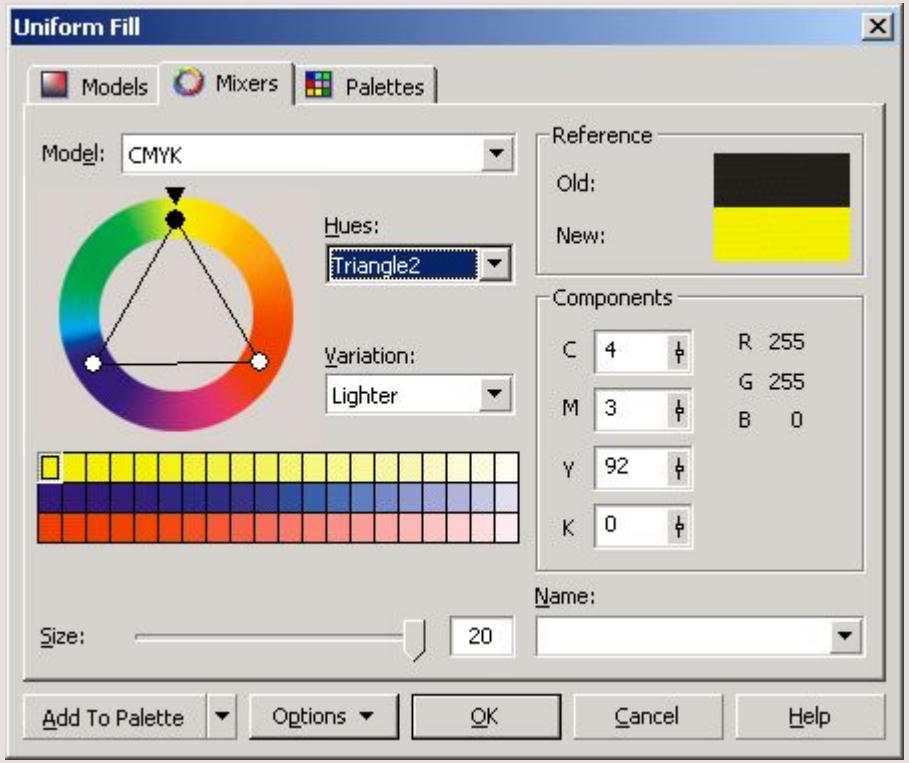


Проверка гармонии алгеброй



Дополнительные и смежные цвета

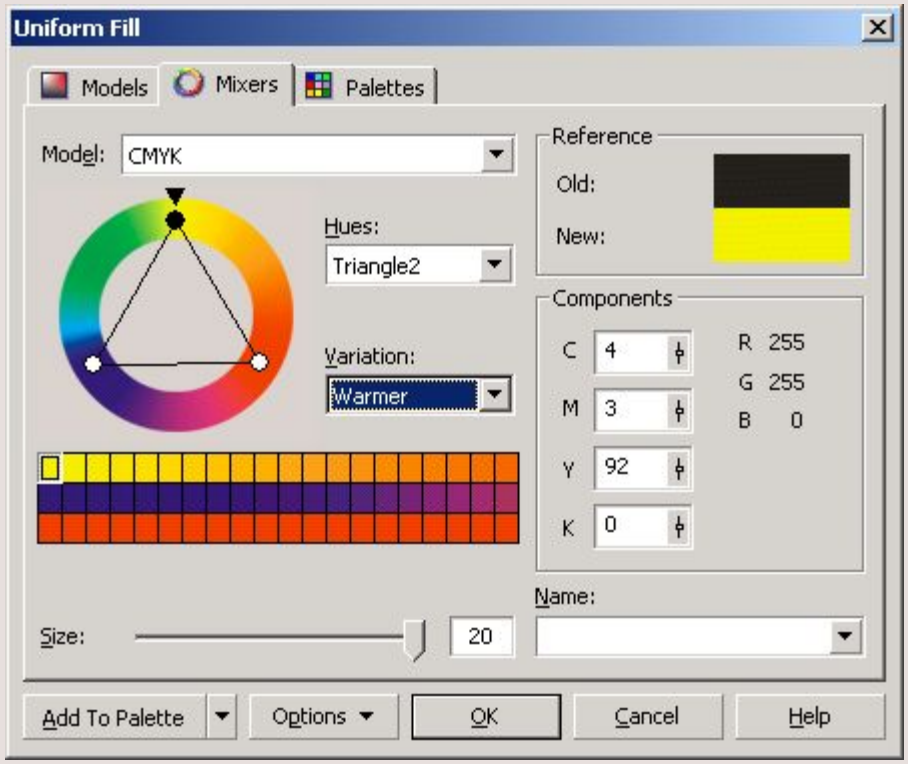
Проверка гармонии алгеброй



Триадные цвета

Светлая триада

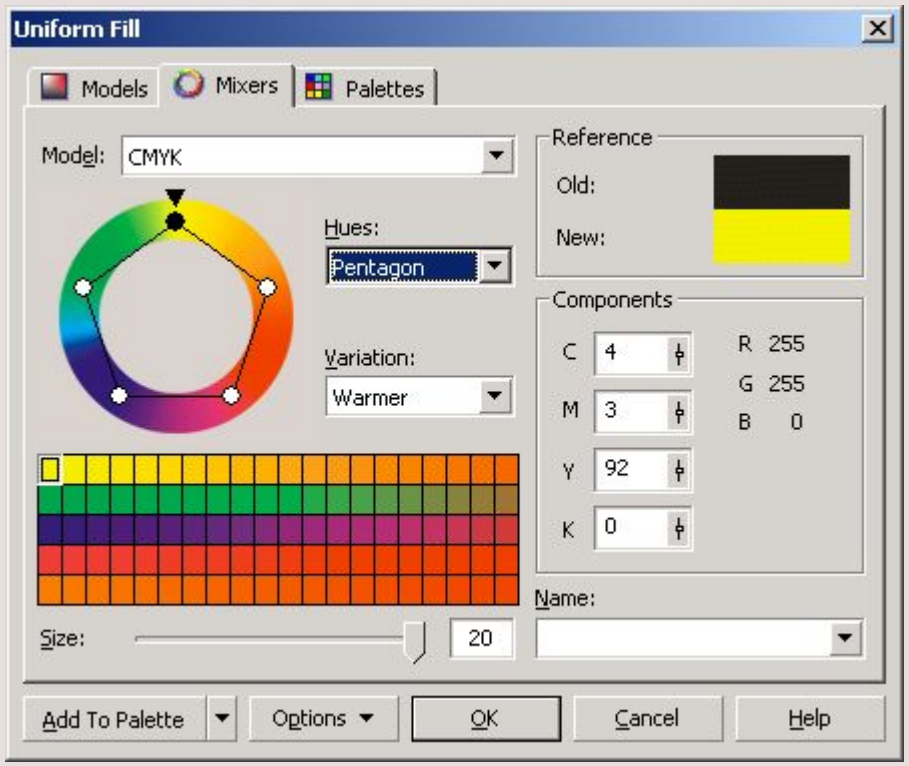
Проверка гармонии алгеброй



Триадные цвета

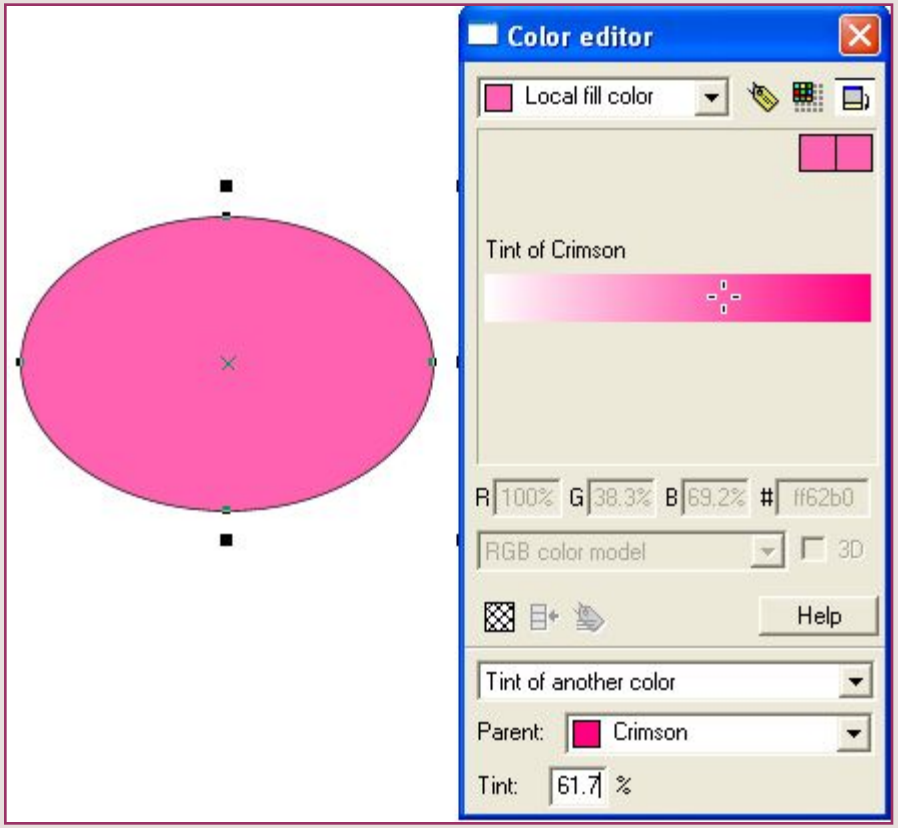
Теплая триада

Проверка гармонии алгеброй

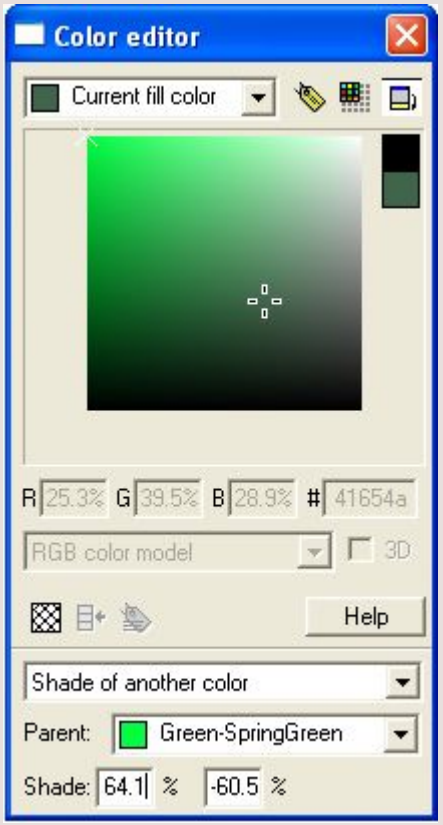


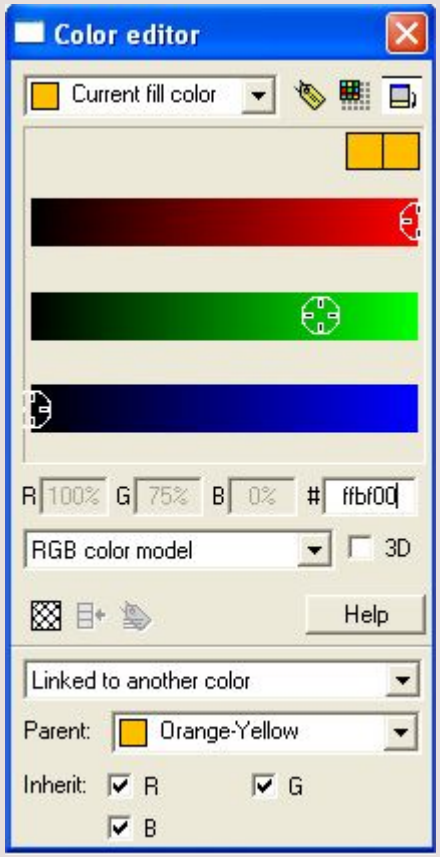
Гармоничный пентагон

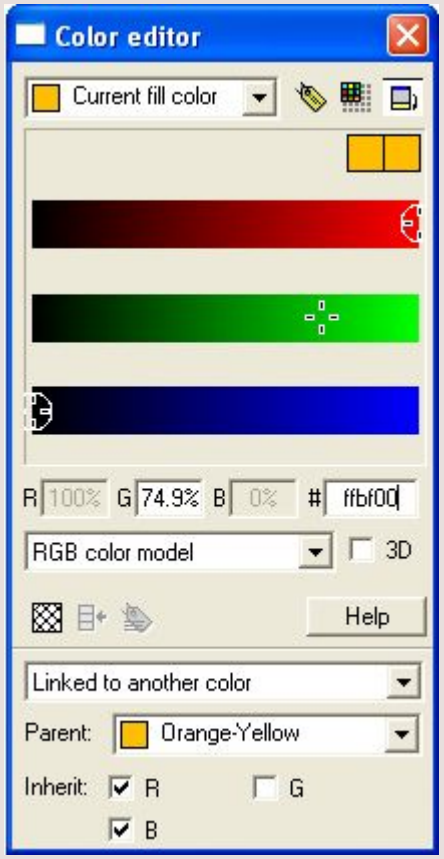
Создание оттенков



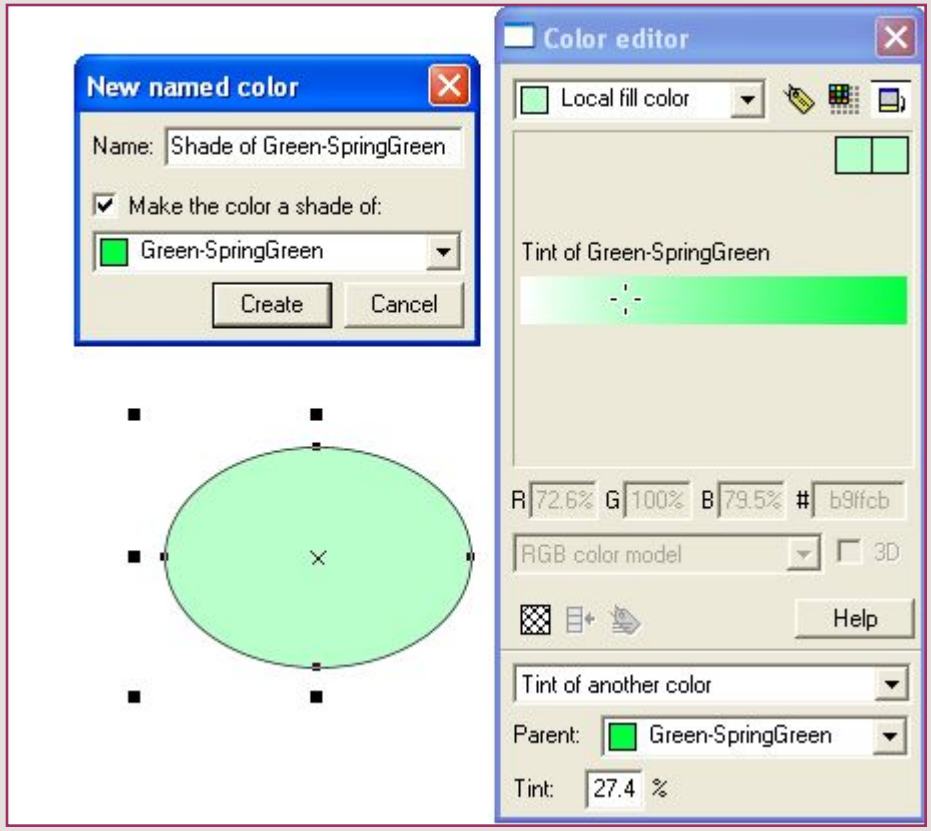
Тени и ссылочные цвета







Именованные цвета

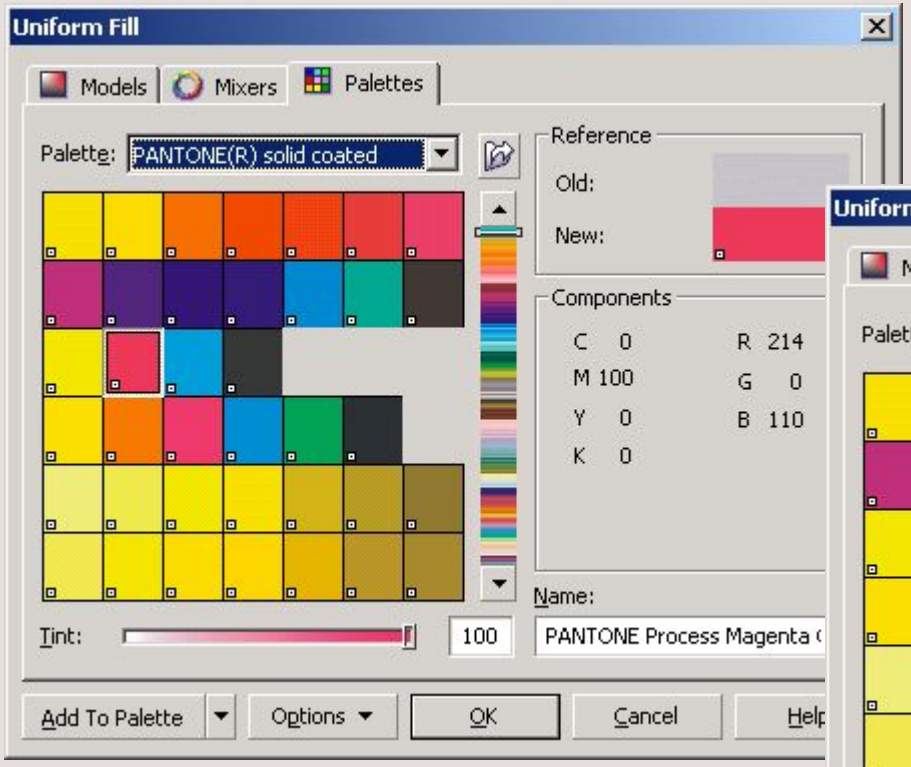


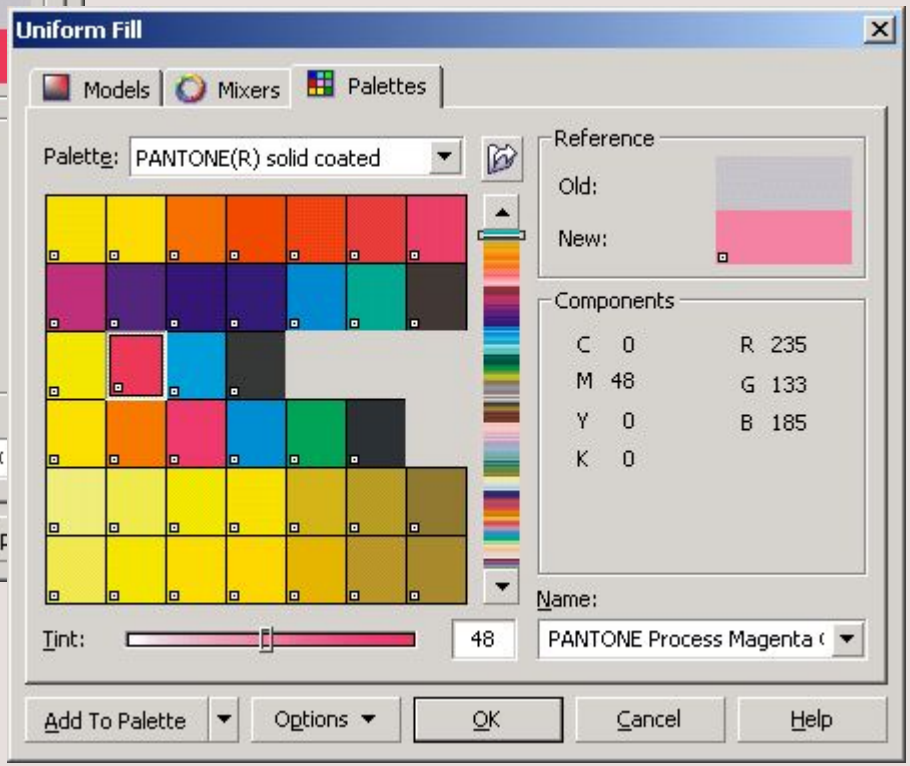
Создание именованных цветов в Xara.

Позволяет сформировать палитру публикации.

Триадные эквиваленты плашечных цветов

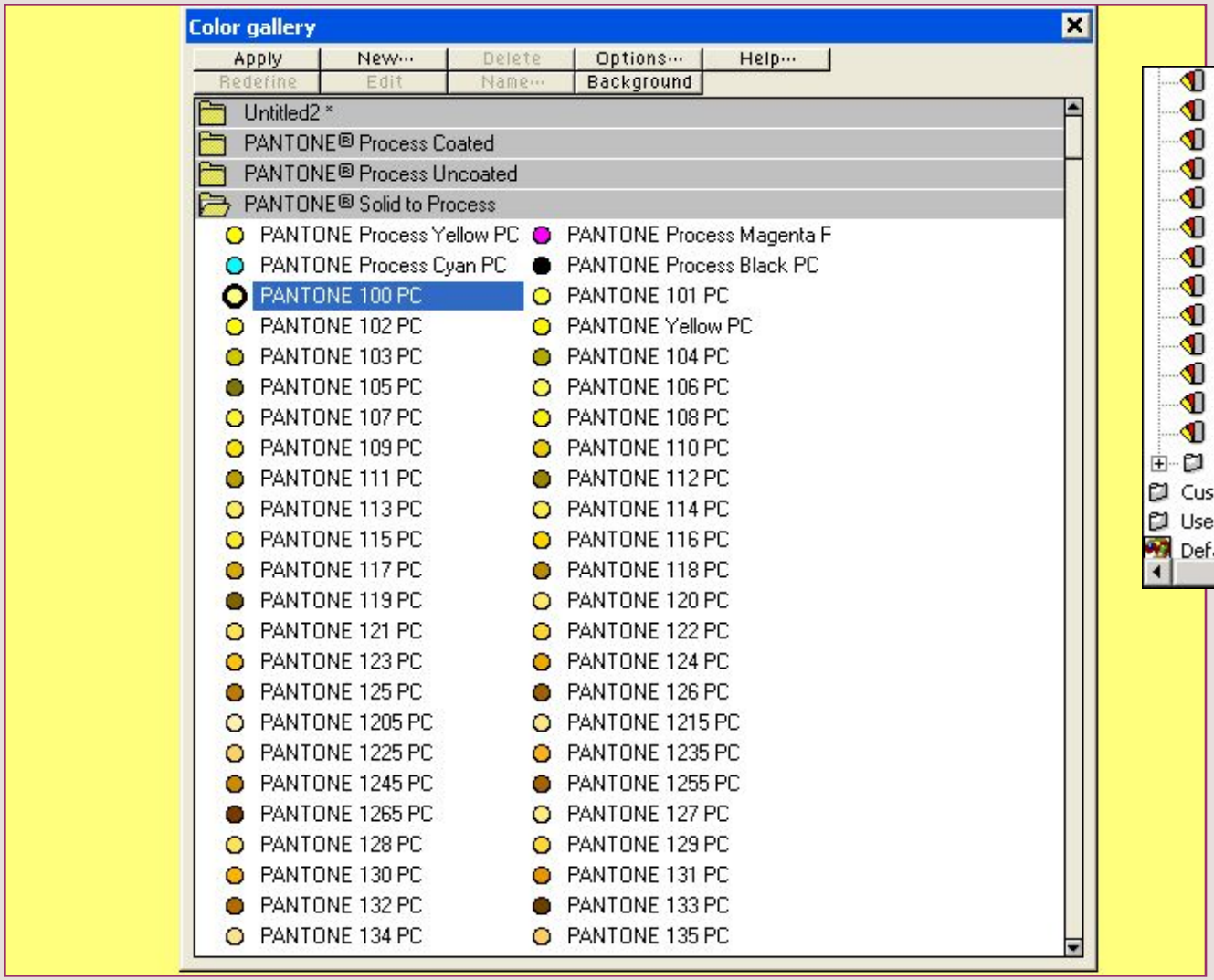
Плашечные цвета = простые, используются для точного воспроизведения и для публикаций, содержащих небольшое (до четырех, включая черный) отдельных цветов.

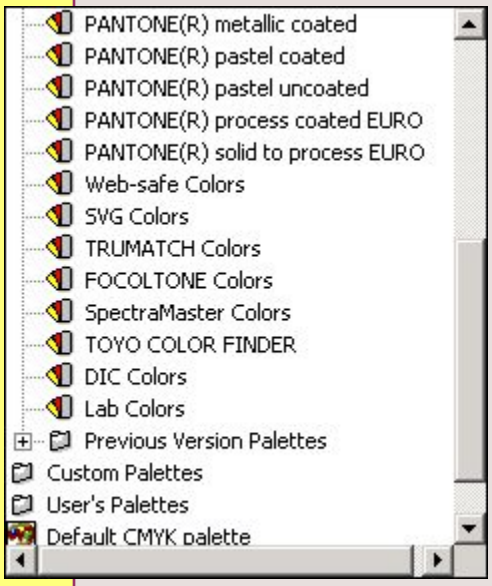




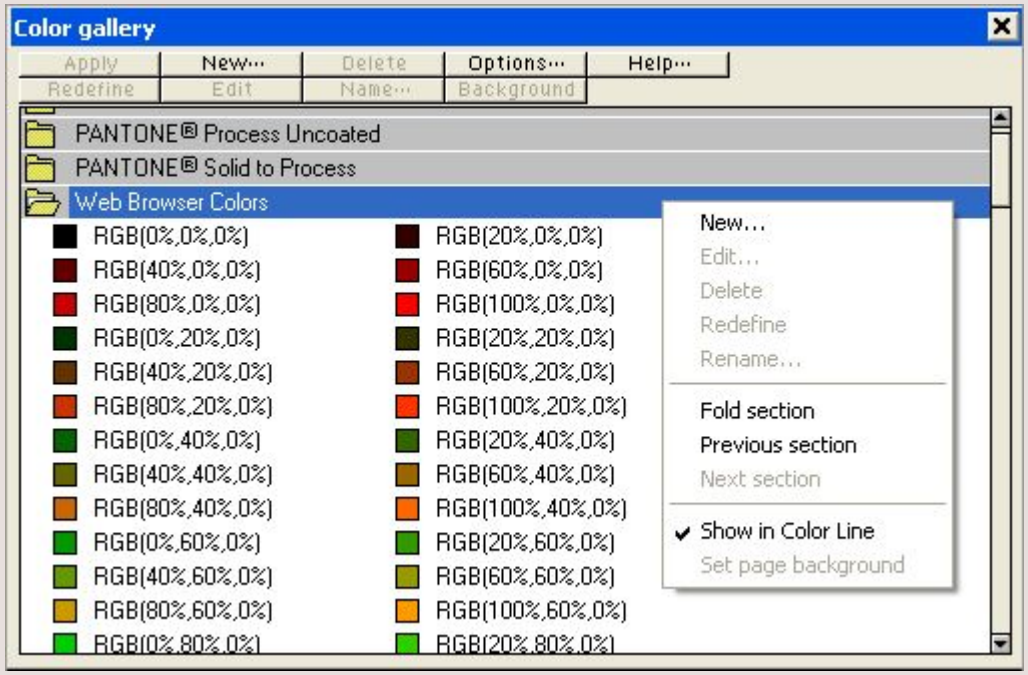
Краски **плашечных** цветов поставляются смешанными (в отдельных банках), а триадные получаются смешением красок на отпечатке листа. Выбираются из каталога – бумажного и электронного.

Плашечные цвета в Xara CorelDraw



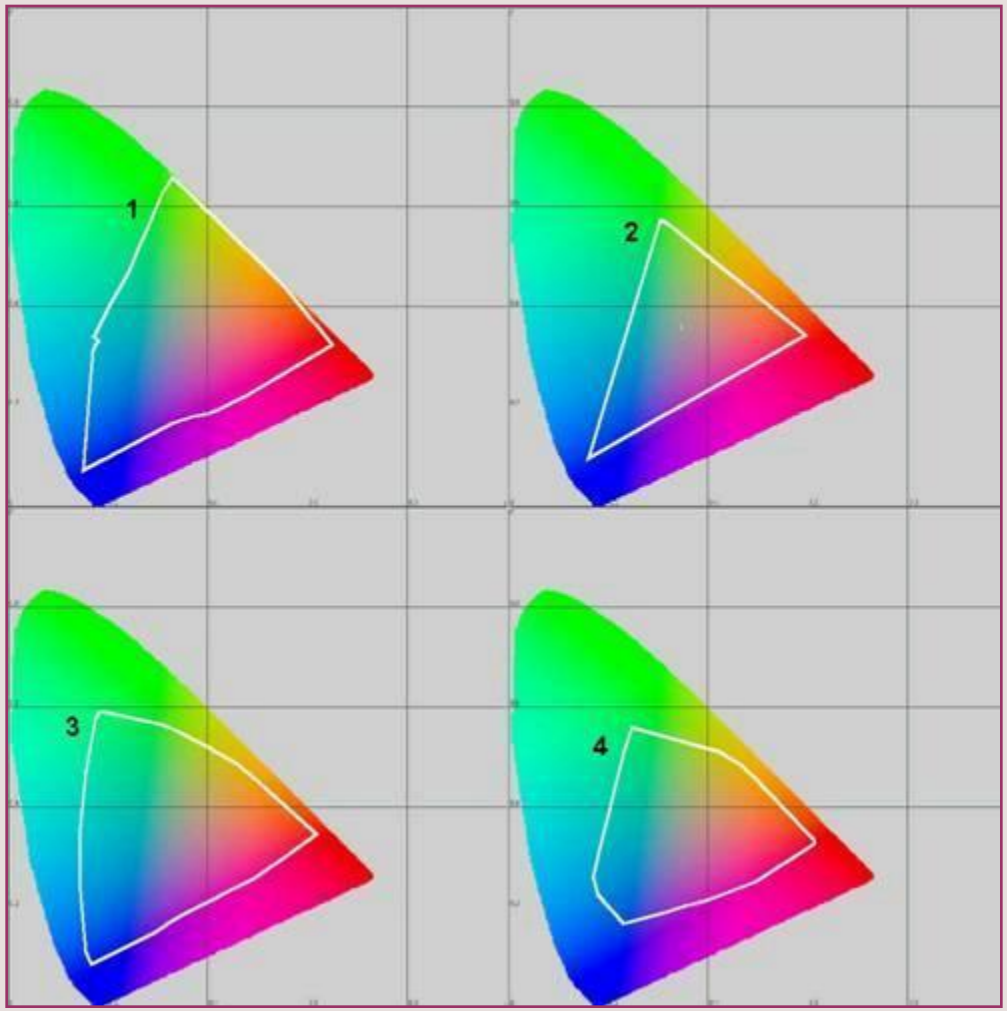


Web-безопасная палитра



Обеспечивает одинаковое отображение цветов на мониторах разных типов => сайт выглядит одинаково.

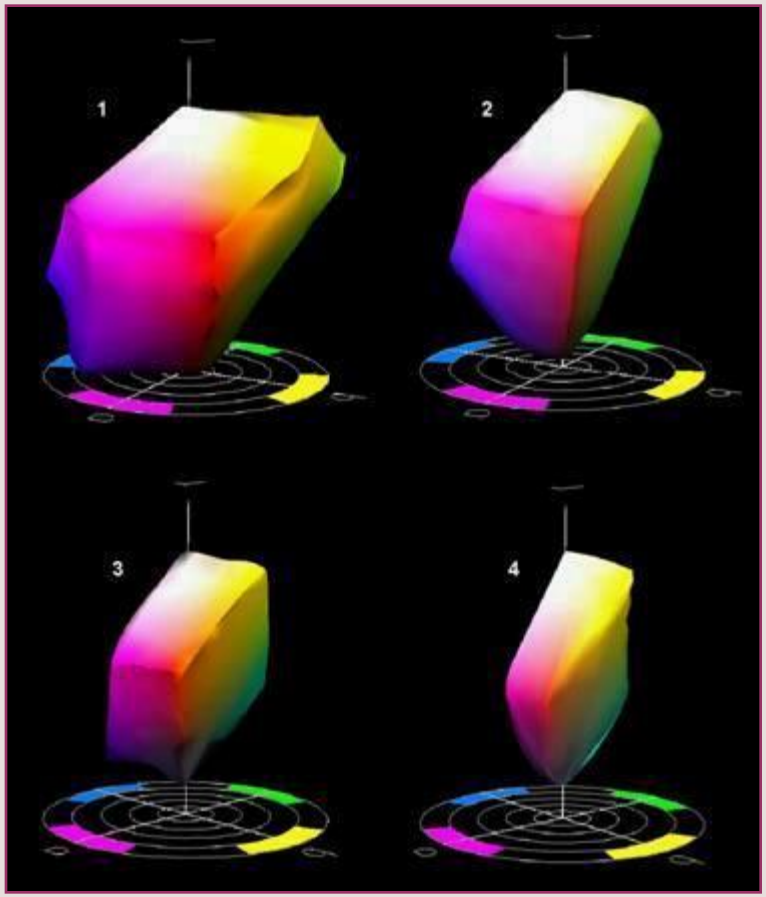
Цветовой охват устройств



Совокупность всех цветовых ощущений, которые может воспроизвести данное устройство, называется **цветовым охватом** этого устройства (gamut).

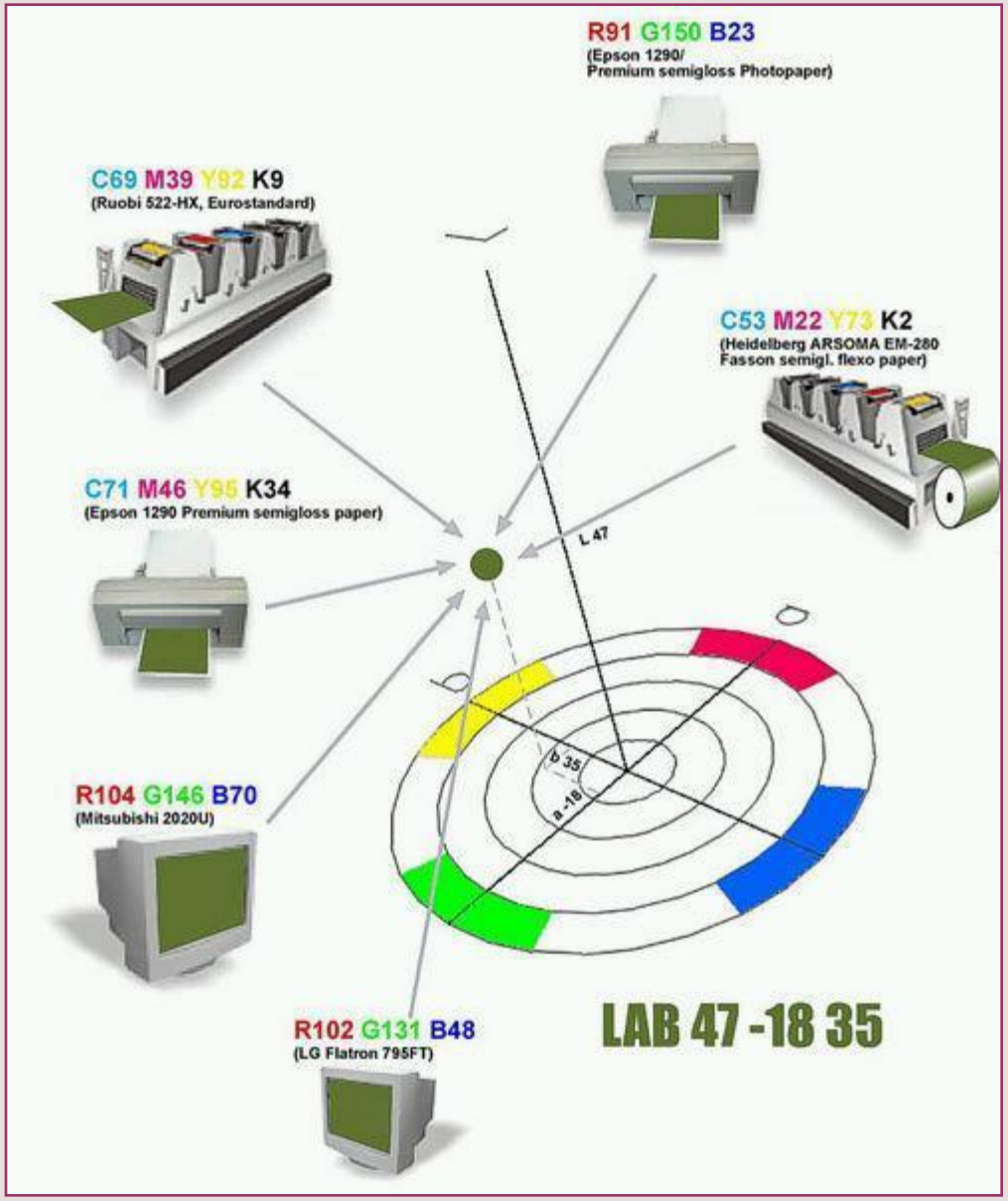
Цветовые охваты устройств в проекции на плоскость *xy*: 1 — цветовой охват сканера AGFA Snapscan 1236; 2 — цветовой охват монитора Mitsubishi 2020U; 3 — цветовой охват принтера Epson St. Photo 1290 на бумаге Premium Semigloss Photo Paper; 4 — цветовой охват усредненного еврофсетного печатного станка

Цветовой охват устройств



Цветовые охваты различных устройств в ЦКС L*a*b*: 1 — цветовой охват сканера AGFA Snapscan 1236; 2 — цветовой охват монитора Mitsubishi 2020U; 3 — цветовой охват принтера Epson St. Photo 1290 на бумаге Premium Semigloss Photo Paper; 4 — цветовой охват усредненного евроофсетного печатного станка

Определение цветовых координат для аппаратных данных цветовоспроизводящих устройств



Профайл (профиль) устройства — это подробное описание цветовоспроизводящих свойств данного устройства, зафиксированное в файле с расширением ICM (ICC). Представляет собой таблицу, где регистрируемые/ отображаемые устройством ввода/вывода цвета преобразуются в одну цветовую модель => в Lab.

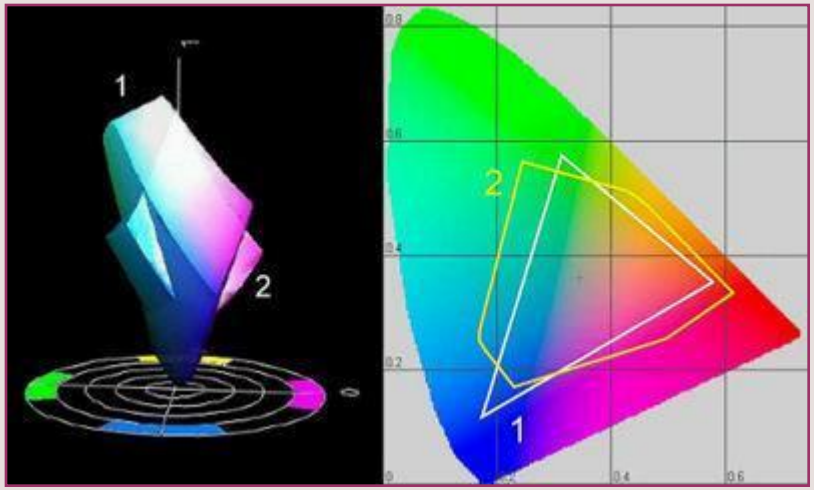
Отличается даже в пределах модели, зависит от условий эксплуатации и возраста устройства => нельзя построить раз и навсегда.

http://www.color.org

Color Management System

- Систему управления цветом формируют:
- Аппаратно-независимая цветовая модель, PCS (Profile Connection Space), по отношению к которой строятся профили конкретных устройств.
- Профили устройств, в которых указаны все характеристики представления цвета конкретным устройством. В различных файлах, ОС, программах. Создание профайла = калибровка.
- Модули управления цветом (Color Management Modules, CMM), интерпретирующие данные о цвете и информацию профилей и формирующие инструкции для каждого из устройств.

Методика подмены внегамутных цветов



http://www.rudtp.ru/articles.php?id=31

1 — цветовой охват монитора Mitsubishi 2020U; 2 — цветовой охват усредненного еврооффсетного станка. Хорошо видно, как охват еврооффсета "вылезает" из охвата монитора в голубых и пурпурных областях

Формулы преобразований из модели в модель

RGB->HSV

```
var_R = ( R / 255 )                    //RGB values = 0 ÷ 255
        var_G = ( G / 255 )
        var_B = ( B / 255 )

        var_Min = min( var_R, var_G, var_B )    //Min. value of RGB
        var_Max = max( var_R, var_G, var_B )    //Max. value of RGB
        del_Max = var_Max - var_Min             //Delta RGB value

        V = var_Max

        if ( del_Max == 0 )                     //This is a gray, no chroma...
        {
          H = 0                                 //HSV results = 0 ÷ 1
          S = 0
        }
        else                                    //Chromatic data...
        {
          S = del_Max / var_Max

          del_R = ( ( ( var_Max - var_R ) / 6 ) + ( del_Max / 2 ) ) / del_Max
          del_G = ( ( ( var_Max - var_G ) / 6 ) + ( del_Max / 2 ) ) / del_Max
          del_B = ( ( ( var_Max - var_B ) / 6 ) + ( del_Max / 2 ) ) / del_Max

          if      ( var_R == var_Max ) H = del_B - del_G
          else if ( var_G == var_Max ) H = ( 1 / 3 ) + del_R - del_B
          else if ( var_B == var_Max ) H = ( 2 / 3 ) + del_G - del_R

          if ( H < 0 ) ; H += 1
          if ( H > 1 ) ; H -= 1
        }
```

http://www.easyrgb.com/math.html

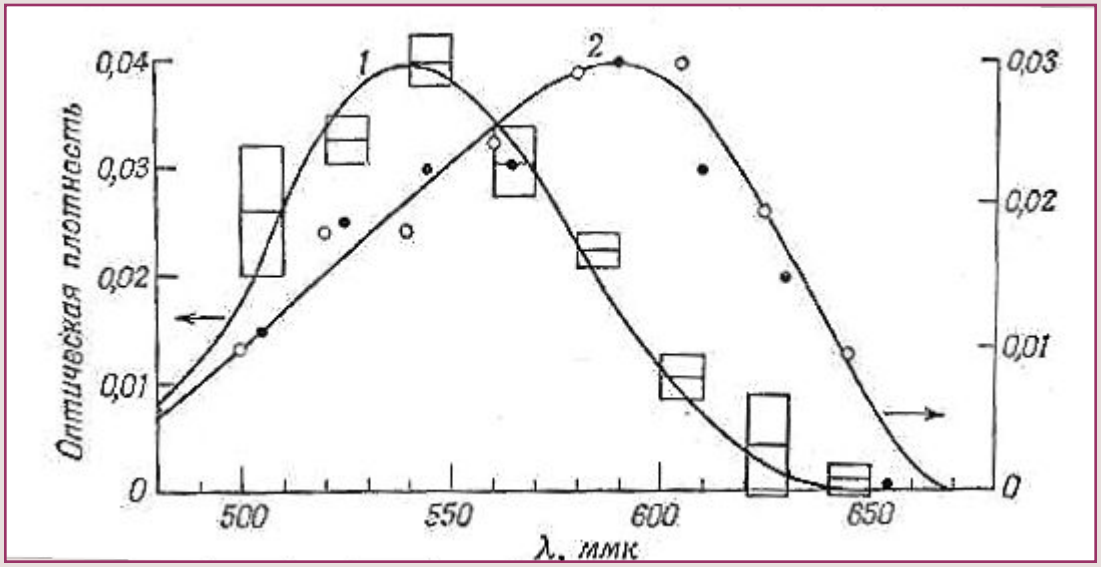
В общем виде

CMY->RGB

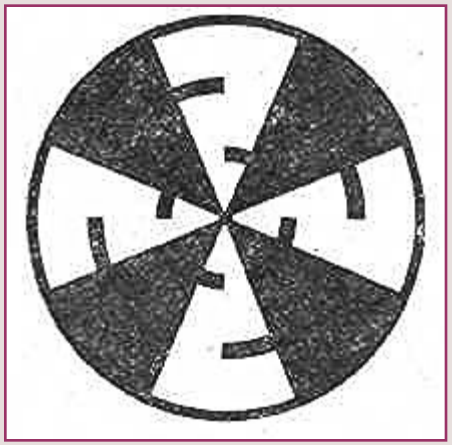
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$

RGB ->CMY

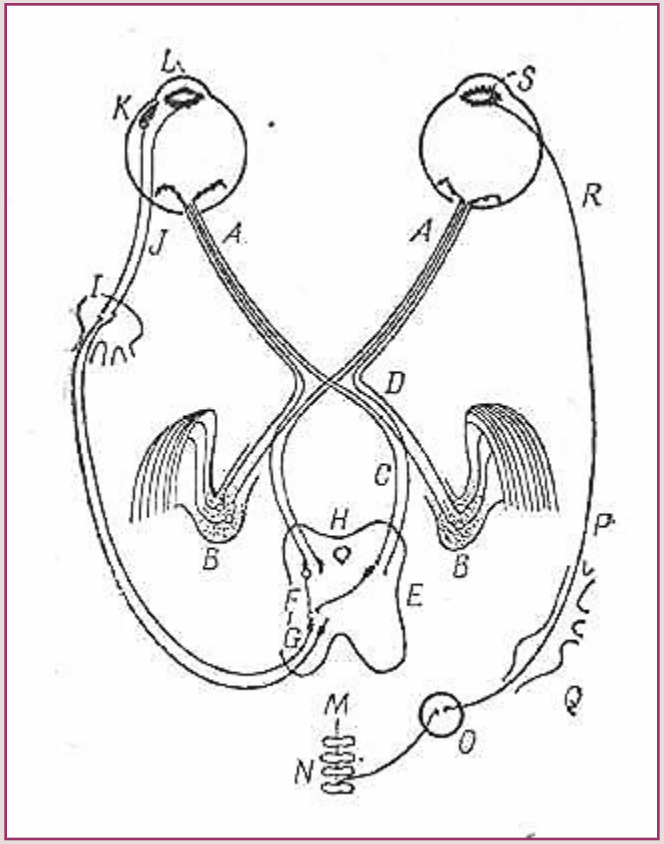
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$


0,04
0,03
0,02
0,01
0
Оптическая плотность
1
2
0,03
0,02
0,01
0
500
550
600
650
λ, ммк

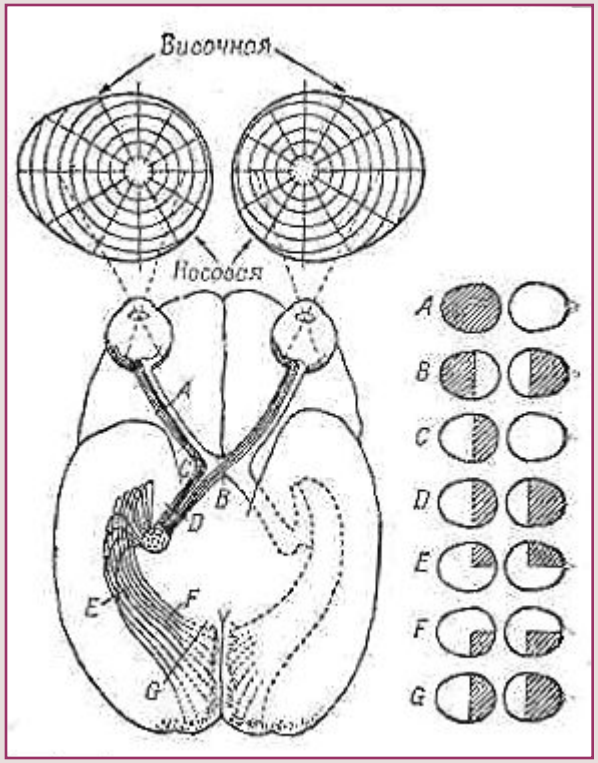
Движение и цвет



Физиология зрения

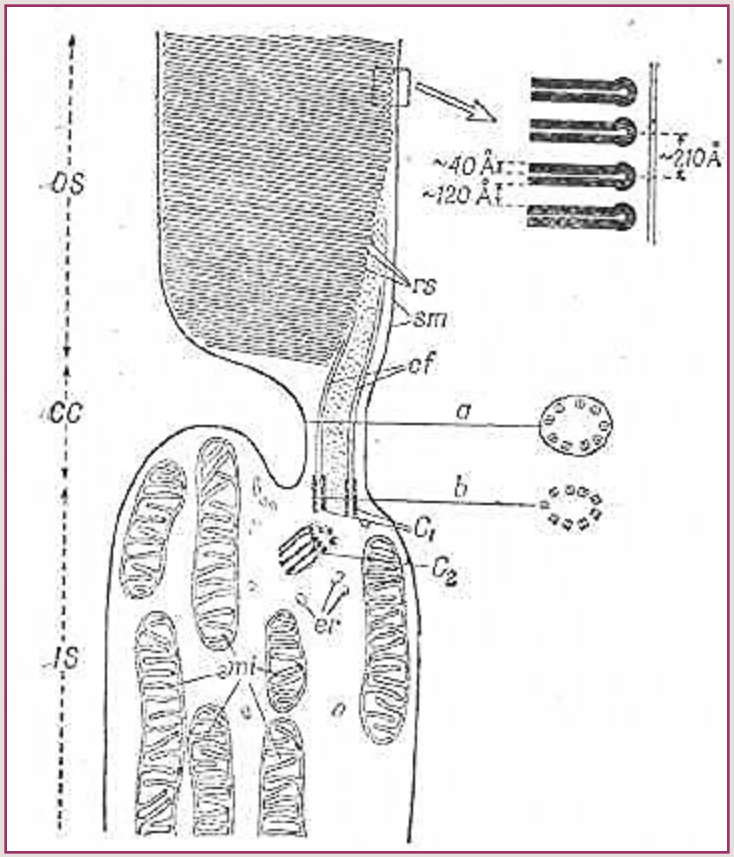


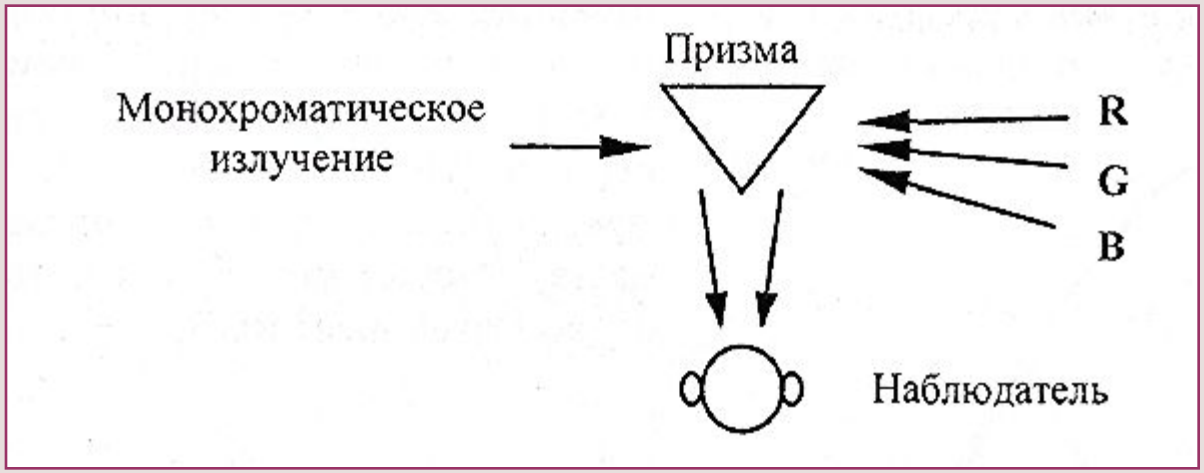
Нервные связи, управляющие механическими движениями глаза

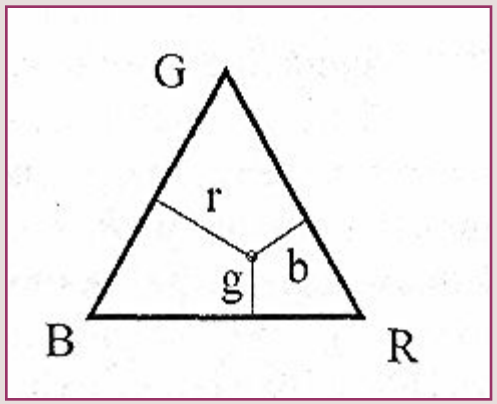


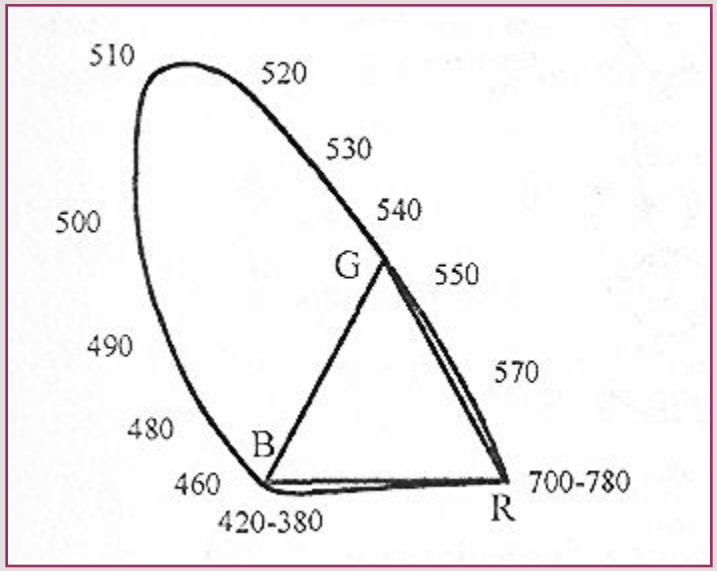
Нервная связь глаза со зрительной корой

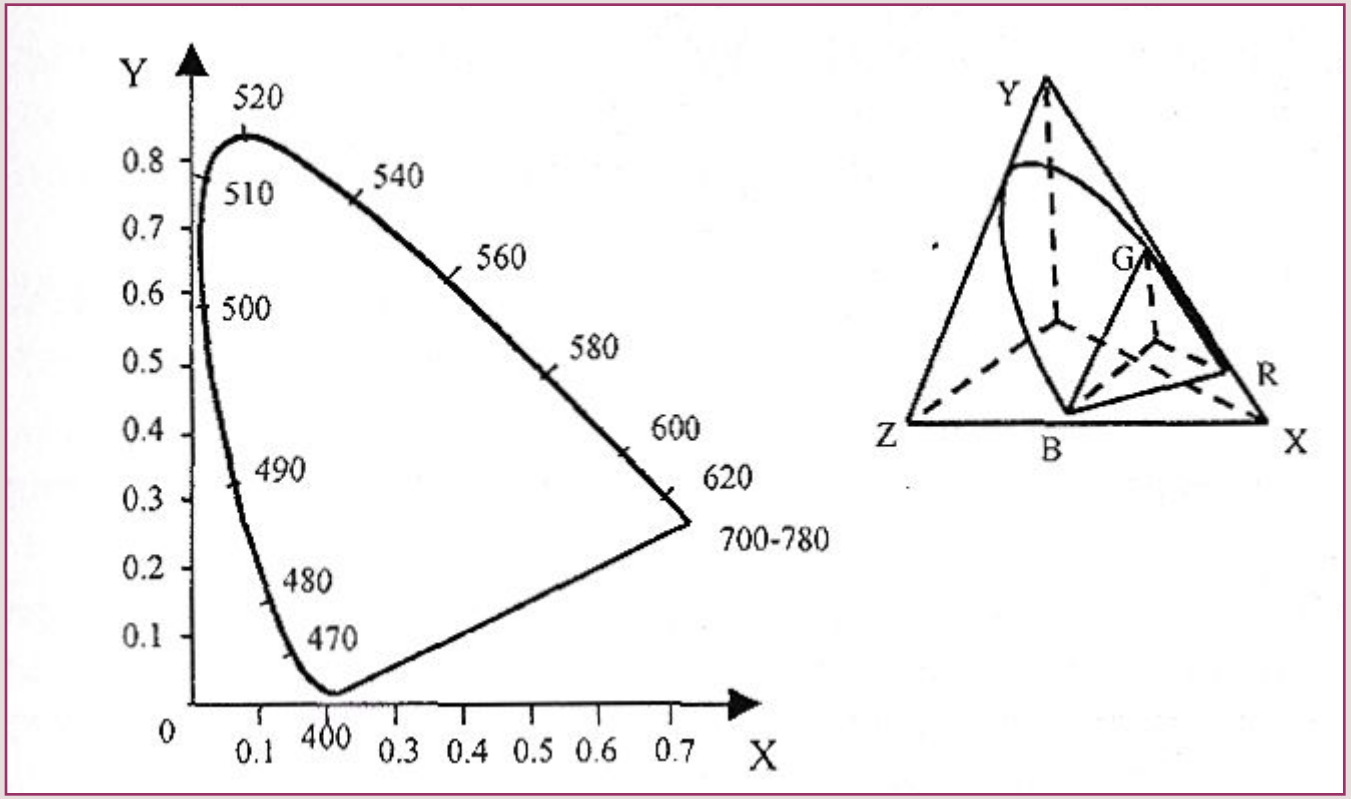
Электронная микрофотография палочки




Призма
Монохроматическое излучение
R
G
B
Наблюдатель


G
r
g
b
B
R


510
520
530
540
500
G
550
490
570
480
B
460
700-780
420-380
R


Y
520
0.8
510
540
0.7
560
0.6
500
580
0.5
600
0.4
490
620
0.3
700-780
0.2
480
0.1
470
0
0.1
400
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
X
Y
G
R
Z
B
X