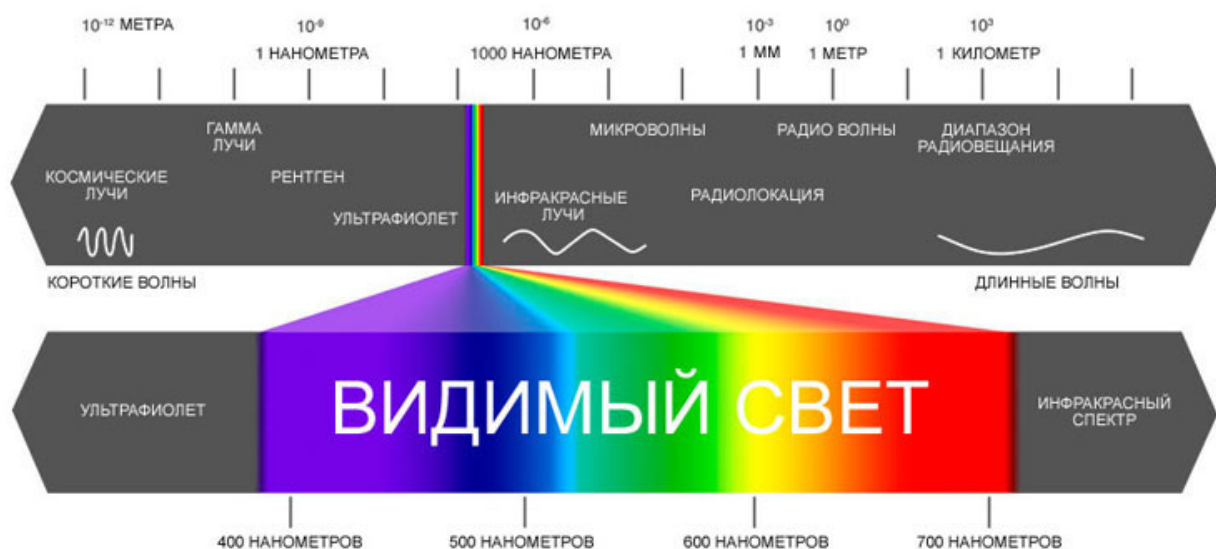


Основы теории цвета. Часть 1

- 1 Что такое цвет. Его характеристики
- 2 Дисперсия света. Получение цвета в системе RGB
- 3 Управление цветом

Что такое цвет. Его характеристики

Светом называют излучения видимого участка оптического диапазона спектра электромагнитных волн.



Цвет — это зрительное ощущение, вызванное воздействием на глаз излучений с длинами волн 400–700 нм.

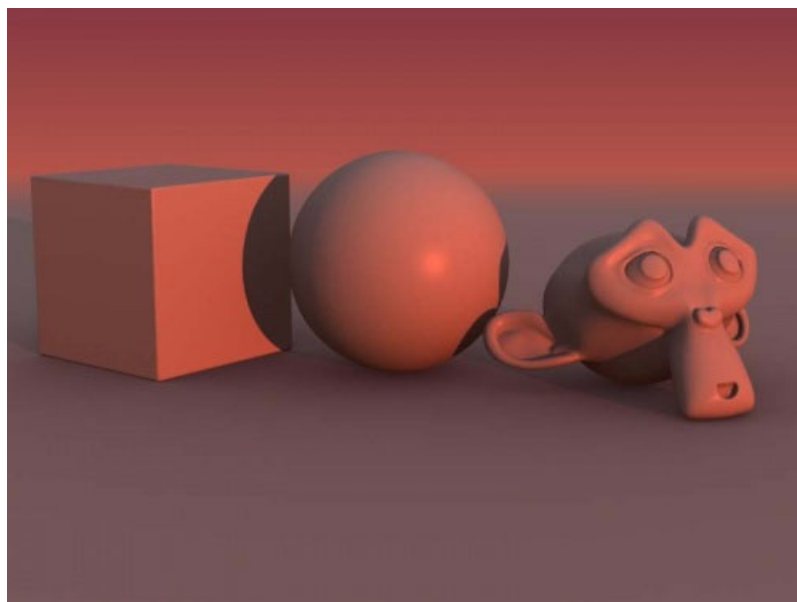
Цветом называют также свойство излучений вызывать зрительное ощущение определенного количества и качества.

Таким образом, понятие «цвет» включает два аспекта:

- физический — это излучение и его характеристики;
- психологический — это условия образования зрительного ощущения.

Зрительные ощущения различаются между собой количественно и качественно. Количественную характеристику ощущения цвета называют *светлотой*, качественную — *цветностью*. Совокупность светлоты и цветности однозначно характеризует цвет. Светлота связана с мощностью (яркостью) действующего излучения, а цветность — с его длиной волны.

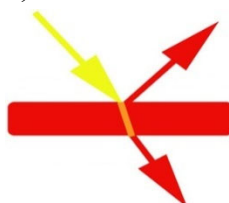
Особенности восприятия цвета в зависимости от цветности (длины волны) можно увидеть на рисунке выше, иллюстрирующем диапазон видимого света. Особенности восприятия цвета в зависимости от светлоты (мощности излучения) проиллюстрированы ниже. Обратите внимание на куб: окраска всех его граней имеет одинаковую цветность, но разную степень освещенности, из-за чего мы воспринимаем цвет его граней как неидентичный.



Что же есть *окраска*? Это понятие выражает спектральные свойства объекта, т.е. способность отражать или пропускать в определенной степени свет тех или иных длин волн.

Цвет объекта обусловлен тем, какие излучения и в какой степени отражаются и/или пропускаются им в данных условиях освещения.

Как происходит отражение, преломление и поглощение света, вам должно быть известно из курса физики. Иллюстрация, чтобы напомнить:



Основными характеристиками цвета являются:

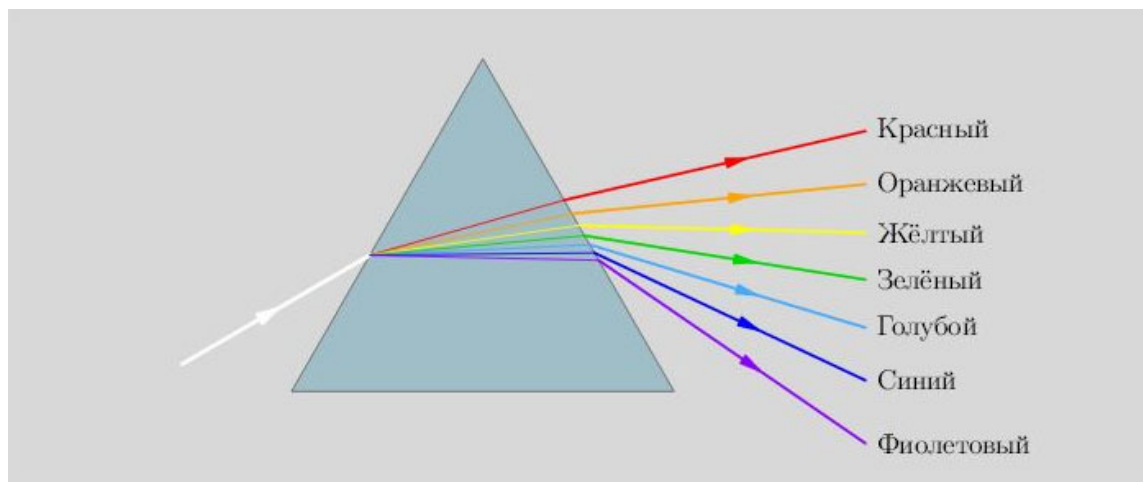
- *Тон* (Hue) — характеристика цвета, обусловленная положением его в видимом спектре (т.е. красный, оранжевый, зеленый и т.д.).
- *Насыщенность* (Saturation) — интенсивность определенного тона, то есть степень визуального отличия хроматического цвета от равного по светлоте ахроматического (серого) цвета. Насыщенный цвет можно назвать «сочным», «глубоким», менее насыщенный — «приглушенным», приближенным к серому. Полностью ненасыщенный цвет будет оттенком серого.
- *Светлота* (Lightness) — это субъективная яркость участка изображения, отнесенная к субъективной яркости аналогично освещенной поверхности, воспринимаемой человеком как белой.

Дисперсия света. Получение цвета в системе RGB

Одним из результатов взаимодействия света с веществом является его дисперсия.

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления n вещества от частоты ν (длины волн λ) света, или зависимость фазовой скорости световых волн от их частоты.

Самый наглядный пример дисперсии — разложение белого света при прохождении его через призму (опыт Ньютона). Сущностью явления дисперсии является различие фазовых скоростей распространения лучей света с различной длиной волны в прозрачном веществе — оптической среде. Обычно чем меньше длина световой волны, тем больше показатель преломления среды для нее и тем меньше фазовая скорость волны в среде.



Опыт И. Ньютона с разложением белого света при прохождении через призму можно также посмотреть здесь: https://www.youtube.com/watch?v=uucYGK_Ymp0 (на английском языке).

Излучения, полученные разложением белого света в спектр, называют *спектральными* (также монохроматическими, однородными, чистыми). Большинство природных излучений *сложные*, т.е. они являются суммой простых (чистых) излучений, взятых в определенных количествах.

Для каждого спектрального цвета можно подобрать другой спектральный, который в сумме с ним даст близкий к белому цвет. Такие пары цветов (излучений) называются *дополнительными*.

Если тело излучает свет с длиной волны $\lambda = 570$ нм, то цвет такого излучения желтый. Однако по цвету излучения того же желтого цвета нельзя определить его спектральный состав, так как глаз видит только результат смешения нескольких излучений (т.е. цвет), но разделить сложное излучение на составляющие не может.

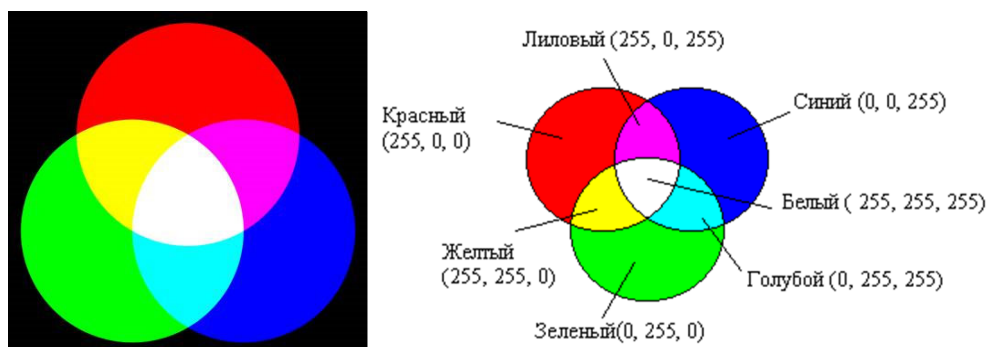
Излучения одинакового цвета и спектрального состава называют *изомерными*, а одинакового цвета и разного спектрального состава — *метамерными*. Метамерность зрения заключается в том, что человеческий глаз видит одинаковыми (т.е. не различает) излучения разного спектрального состава, если они имеют одинаковый цвет. В том числе благодаря метамерности зрения возможна печать фотографий и полиграфии.

Идея *цветового круга Ньютона* была следствием экспериментов по смешению цветов, так же как идея самого смешения была следствием наблюдений над разложением солнечного луча.



Ньютон испытал оптические суммы разных цветов и выявил некоторые закономерности. Например, что смешение двух близких по спектру цветов дает цвет промежуточный между ними, а смешение красного и зеленого, оранжевого и синего, желтого и фиолетового дает цвет, близкий к белому.

Также Ньютон понял, что можно выбрать три спектральных цвета, смешение которых в разных количествах может дать все или почти все цвета цветового круга. Такой цветовой триадой принято теперь считать *триаду* — красный, зеленый, синий. Красный, зеленый и синий называют основными цветами ньютоновской цветовой системы. Теперь эта триада носит название *трехканальной цветовой модели RGB*.



RGB — *аддитивная* цветовая модель, описывающая излучаемые цвета. Она основана на трех основных (базовых) цветах с длинами волн: 700,0 нм — красный (Red), 546,1 нм — зеленый (Green) и 435,8 нм — синий (Blue). Остальные цвета получаются сочетанием базовых. В модели RGB каждый базовый цвет характеризуется яркостью, которая может принимать 256 значений — от 0 до 255. Поэтому можно смешивать цвета в различных пропорциях, изменяя яркость каждой составляющей. Таким образом, можно получить $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ цветов.

Демонстрационное видео о том, как регулируется цвет одного пикселя в системе RGB (начиная с 03:01) <https://www.youtube.com/watch?v=IL0pxSslCzo>. В начале видео также объясняется, как работают цветовые модели BitMap и Grayscale, а также сколько памяти для них используется.

Каждому цвету можно сопоставить код, используя десятичное и шестнадцатеричное представление кода. Десятичное представление — это тройка десятичных чисел, разделенных запятыми. Первое число соответствует яркости красной составляющей, второе — зеленой, а третье — синей. Шестнадцатеричное представление — это три двузначных шестнадцатеричных числа, каждое из которых соответствует яркости базового цвета. Первое число (первая пара символов) соответствует яркости красного цвета, второе число (вторая пара) — зеленой, а третье (третья пара) — синей. В web для обозначения цветов используется *HEX код*, основанный на шестнадцатеричном представлении.

Управление цветом

Управление цветом — это процесс, в котором характеристики цветности для каждого устройства в схеме отображения в точности известны и используются для лучшего предсказания и управления воспроизведением цвета.

Воспроизведение цвета подвержено фундаментальной проблеме: различные коды цвета необязательно покажут один и тот же цвет на разных устройствах. Управление цве-

том требует таблицы адаптации для каждого устройства, которая соотносит число с цветом. Таким образом, когда компьютер отправляет информацию о цвете устройству, он не просто отправляет числа, но обозначает заодно, как эти числа должны выглядеть. Программы, работающие с управлением цветом, могут учесть этот профиль и адаптировать числа, посылаемые на устройство, соответственно.

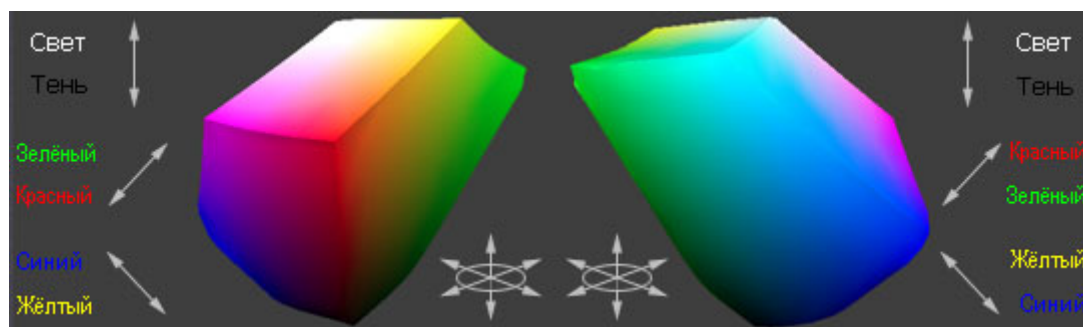
В 1993 году был образован *Международный консорциум по цвету* (International Color Consortium ICC), целью которого явилось создание открытой, стандартизированной системы управления цветностью, используемой теперь в большинстве компьютеров. Консорциум создал открытый стандарт *Color Matching Module (CMM)* (модуль цветового соответствия), действующий на уровне операционной системы, а также *цветовые профили* ICC для устройств и *рабочих пространств* (working spaces) — цветовые пространства, доступные для работы пользователей. Существуют также профили, встраиваемые в устройства. *Модуль цветового соответствия* — это программный алгоритм, который корректирует цветовые данные, полученные от или отправляемые в различные устройства, таким образом, чтобы цвета, которые они отображают, согласовались друг с другом.

Цветовые пространства

Цветовое пространство соотносит числа с актуальными цветами и по сути является трёхмерным объектом, который содержит все реализуемые комбинации цветов. При попытке воспроизвести цвет на другом устройстве цветовые пространства могут показать, сможете ли вы сохранить детали в тенях и ярких областях, насыщенность цвета, и в какой мере этими деталями придётся пожертвовать.

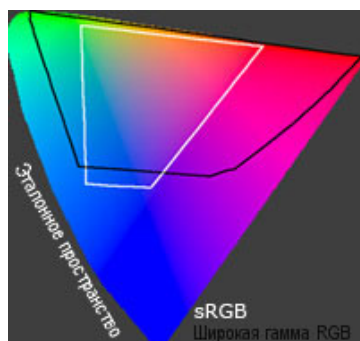
Цветовые пространства могут быть либо зависимыми, либо независимыми от данного устройства. Пространства, привязанные к устройствам, описывают цвет, соотносимый с некоторым другим цветовым пространством, тогда как независимые описывают цвет в абсолютных терминах.

Ниже — пример трёхмерного цветового пространства с двух углов зрения. По вертикали отложены яркости, тогда как по горизонталям отложены красно-зелёное и жёлто-синее смещения. Эти измерения могут быть также описаны, используя другие свойства цвета.



Однако цветовое пространство практически всегда требует сравнения с другим пространством. Чтобы визуализировать это сравнение, цветовые пространства часто представляют двумерными. Такой вид пространств позволяет быстро оценить грань их пересечения. Если не указывают иное, двумерные диаграммы обычно показывают пересечение по уровню 50% яркости. Ниже представлены три цветовых пространства: sRGB, RGB с широкой гаммой (Wide Gamut) и эталонное пространство, независимое от устройства.

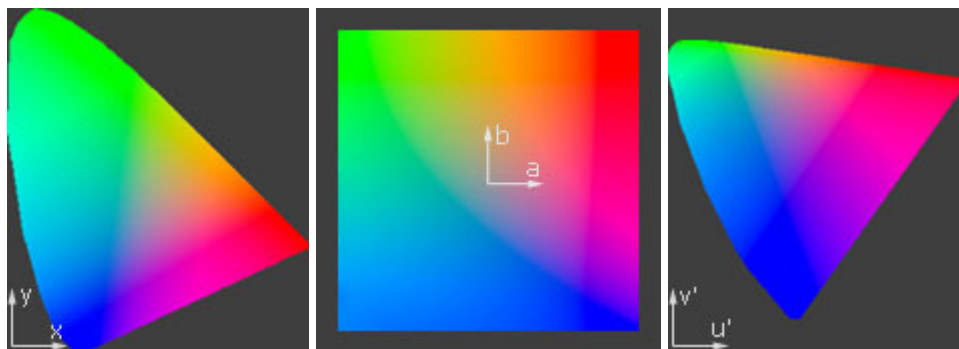
Пространства sRGB и Wide-Gamut RGB являются двумя *рабочими пространствами*, которые периодически используются для редактирования изображений.



Как чёрная, так и белая фигуры отображают подмножество цветов, которые являются воспроизводимыми в каждом из цветовых пространств как часть эталонного пространства, которое не зависит от устройства. Эталонное пространство практически всегда содержит больше цветов, чем может быть показано на мониторе компьютера.

Что есть *эталонное, независимое от устройства пространство*? Практически все программы управления цветом сегодня используют независимое от устройства пространство, определённое *Международной комиссией по освещению* (CIE) в 1931. Это пространство имеет целью описать все цвета, различимые человеческим глазом, и оно основано на средней оценке, составленной по выборке людей, не имеющих проблем со зрением (называемых «стандартным колориметрическим наблюдателем»).

Пространство наблюдаемого цвета CIE выражается в нескольких общепринятых формах: CIE xyz, CIE $L^*a^*b^*$ и CIE $L^*u^*v^*$. Ниже представлены *двумерные* проекции каждого из пространств (сами пространства трехмерные). Слева направо: CIE xyz, CIE $L^*a^*b^*$, CIE $L^*u^*v^*$.



Рабочим является *пространство*, используемое в программах редактирования изображений, и оно определяет набор цветов, доступных для работы при редактировании изображения. Примеры рабочих цветовых пространств — Adobe RGB 1998, sRGB IEC61966-2.1 и др.