

X-Rite

www.x-rite.com

© X-Rite, Incorporated 1998

ALL RIGHTS RESERVED

X-Rite®, X-RiteColor®, the X-RiteColor logo, Digital Swatchbook®, X-Scan®, and QuickLink® are registered trademarks of X-Rite, Incorporated.

Adobe, Adobe PageMaker, and PostScript are registered trademarks and Adobe

Photoshop and Adobe Illustrator are trademarks of Adobe Systems Incorporated.

Encapsulated PostScript (EPS) is a trademark of Altsys Corporation. FreeHand is a

trademark of Macromedia, Inc. QuarkXPress is a registered trademark of Quark, Inc. All

other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their

respective holders. Mention of third-party products is for informational purposes only and

constitutes neither an endorsement nor a recommendation. X-Rite, Incorporated assumes

no responsibility for the performance or use of these third-party products.

Apple and Macintosh are trademarks of Apple Computer, Inc., registered in the United

States and other countries. Mac and ColorSync are trademarks of Apple Computer, Inc.

Справочник руководство по работе с цветом

Передача, измерение и контроль за цветом

в полиграфии и цифровой
обработке изображений

Часть 3



1. Цвет как средство коммуникации

Продолжение. Начало читайте в номерах 7 и 8 за этот год.

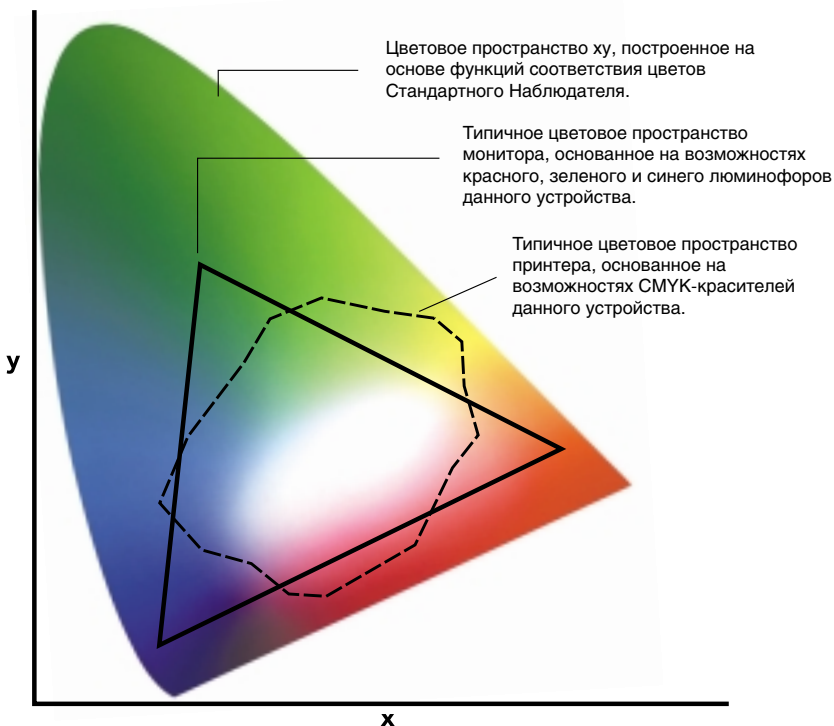
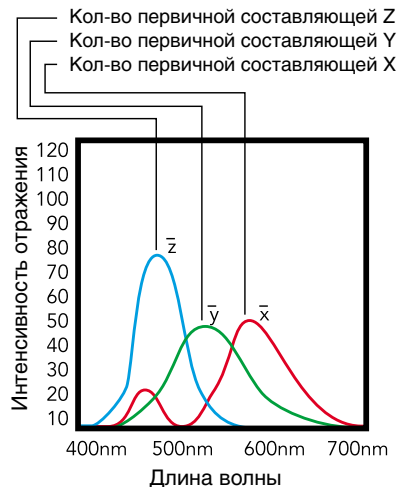
ЦВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ CIE

В 1931 году комитет CIE утвердил несколько стандартных цветовых пространств, описывающих видимый спектр. При помощи этих систем мы можем сравнивать между собой цветовые пространства отдельных наблюдателей и устройств на основе *повторяемых стандартов*.

Цветовые системы CIE подобны другим трехмерным моделям, рассмотренным нами выше, поскольку, для того, чтобы обнаружить положение цвета в цветовом пространстве, в них тоже используется три координаты. Однако в отличие от описанных выше пространства CIE – то есть CIE XYZ, CIE L*a*b* и CIE L*u*v* – не зависят от устройства, то есть диапазон цветов, которые можно определить в этих пространствах, не ограничивается изобразительными возможностями того или иного конкретного устройства или визуальным опытом определенного наблюдателя.

CIE XYZ и Стандартный Наблюдатель

Главное цветовое пространство CIE – это пространство CIE XYZ. Оно построено на основе зритель-



xy-диаграмма цветности имеет «естественные» очертания, поскольку в диапазоне между пурпурными и красными тонами мы более чувствительны к небольшим изменениям цвета, чем в диапазоне между зелеными и желтыми тонами.

Можно заметить, что левая часть диаграммы в желтой и зеленой областях имеет более «вытянутую» форму, а в белой, красной и пурпурной зонах она более плотная.

ных возможностей так называемого *Стандартного Наблюдателя*, то есть гипотетического зрителя, возможности которого были тщательно изучены и зафиксированы в ходе проведенных комитетом CIE длительных исследований человеческого зрения.

Комитет CIE провел множество экспериментов с огромным количеством людей, предлагая им сравнивать различные цвета, а затем с помощью совокупных данных этих экспериментов построил так называемые функции соответствия цветов (color-matching functions) и универсальное цветовое пространство (universal color space), в котором был представлен диапазон види-

мых цветов, характерный для среднестатистического человека. Функции соответствия цветов – это значения каждой первичной составляющей света – красной, зеленой и синей, которые должны присутствовать, чтобы человек со средним зрением мог воспринимать все цвета видимого спектра. Этим трем первичным составляющим были поставлены в соответствие координаты X, Y и Z.

По этим значениям X, Y и Z комитет CIE построил *Диаграмму Цветности xyY (xyY Chromaticity Diagram)* и определил видимый спектр как трехмерное цветовое пространство. Оси этого цветового пространства аналогичны цветовому пространству HSL. Однако

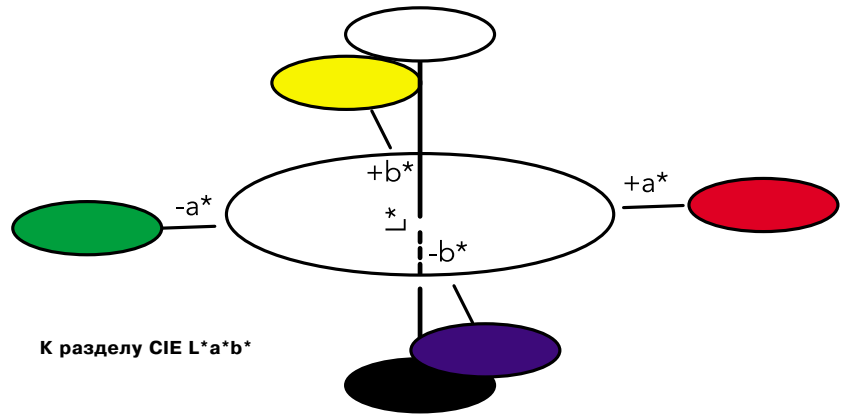
пространство xY нельзя описать как цилиндрическое или сферическое. Комитет CIE обнаружил, что человеческий глаз воспринимает цвета неодинаково и, следовательно, цветовое пространство, отображающее диапазон нашего зрения, имеет несколько перекошенную форму.

Представленная на иллюстрации xY -диаграмма наглядно показывает, что цветовые пространства RGB-монитора и CMYK-принтера существенно ограничены. Чтобы перейти к дальнейшим рассуждениям, необходимо также подчеркнуть, что показанные здесь гаммы RGB и CMYK не являются стандартными. Их описания будут меняться при переходе от одного конкретного устройства к другому, а гамма XYZ не зависит от устройства, то есть является *повторяемым* стандартом.

CIE $L^*a^*b^*$

Конечной целью комитета CIE была разработка повторяемой системы стандартов цветопередачи для производителей красок, чернил, пигментов и других красителей. Самая важная функция этих стандартов – предоставить универсальную схему, в рамках которой можно было бы устанавливать соответствие цветов. В основу этой схемы легли Стандартный Наблюдатель и цветовое пространство XYZ; однако несбалансированная природа пространства XYZ (как показано на диаграмме цветности xY) сделала эти стандарты трудными для четкой адресации.

В результате CIE разработал более однородные цветовые шкалы – CIE $L^*a^*b^*$ и CIE $L^*u^*v^*$. Из этих двух моделей более широко применяется модель CIE $L^*a^*b^*$. Хорошо сбалансированная структура цветового пространства $L^*a^*b^*$ основана на той теории, что цвет не может быть одновременно зеленым и красным или желтым и синим. Следовательно, для описания атрибутов «красный/зеленый» и «желтый/синий» можно воспользоваться одними и теми же значениями.

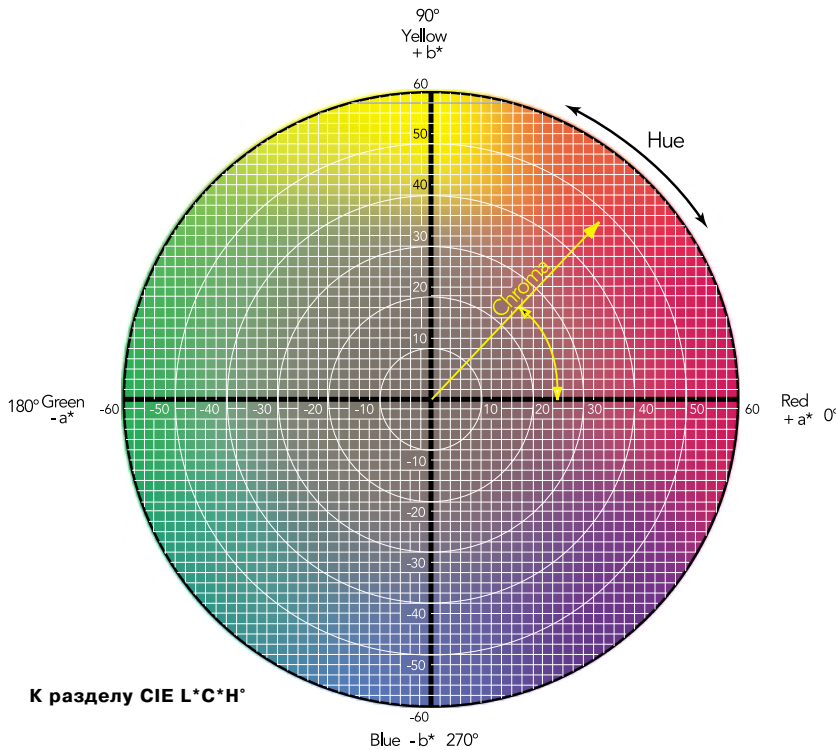


Когда цвет представляется в пространстве CIE $L^*a^*b^*$, величина L^* обозначает светлоту, a^* – величину красной/зеленой составляющей, b^* – величину желтой/синей составляющей. Это цветовое пространство во многом напоминает трехмерные цветовые пространства – такие как HSL.

CIE $L^*C^*H^\circ$

Цветовая модель $L^*a^*b^*$ использует прямоугольные координаты на базе двух перпендикулярных осей: желтый-синий и зеленый-красный. Цветовая модель CIE $L^*C^*H^\circ$ использует то же самое XYZ-пространство, что и $L^*a^*b^*$, но здесь используются цилиндрические координаты *Светлота* (*Lightness*), *Хроматность* (*Chroma*) и угол поворота *Цветовой тон* (*Hue*). Эти координаты подобны координатам модели HSL (Hue, Saturation, Lightness – Цветовой тон, Насыщенность,

Светлота). Атрибуты обеих цветовых моделей – $L^*a^*b^*$, и $L^*C^*H^\circ$ – можно получать путем замера спектральных данных цвета и прямого преобразования XYZ-значений или непосредственно из колориметрических XYZ-значений. Когда набор числовых значений будет спроецирован на каждое из измерений, мы можем точно определить конкретное положение цвета в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$. При-



К разделу CIE L*a*b*

веденная ниже диаграмма показывает соотношение координат $L^*a^*b^*$ и $L^*C^*H^*$ в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$. Позднее мы вернемся к этим цветовым пространствам, когда будем обсуждать пределы допустимости и способы контроля цвета.

Эти трехмерные пространства дают нам логическую схему, внутри которой можно вычислять соотношения между двумя или несколькими цветами. «Расстояние» между двумя цветами в этих пространствах показывает их «меру близости» друг другу.

Как вы помните, цветовая гамма наблюдателя – это не единствен-

ный составной элемент цвета, изменяющийся в зависимости от конкретной просмотровой ситуации. На внешний вид цвета также влияют условия освещения. При описании цвета посредством трехмерных данных мы должны также описывать спектральный состав источника света. Но каким источником мы пользуемся? Комитет CIE и в этом случае попытался ввести стандартные источники света.

Стандартные источники света CIE

Точное определение характеристик источника света является важной частью описания цвета во многих

приложениях. Стандарты CIE создают универсальную систему предопределенных спектральных данных для нескольких широко применяемых типов источников света.

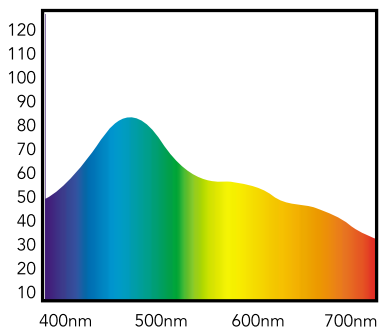
Стандартные источники света CIE впервые были учреждены в 1931 году и были обозначены буквами А, В и С:

- **Источник цвета типа А** представляет собой лампу накаливания с цветовой температурой примерно 2856°K.
- **Источник цвета типа В** – это прямой солнечный свет с цветовой температурой примерно 4874°K.
- **Источник цвета типа С** – это не прямой солнечный свет с цветовой температурой примерно 6774°K.

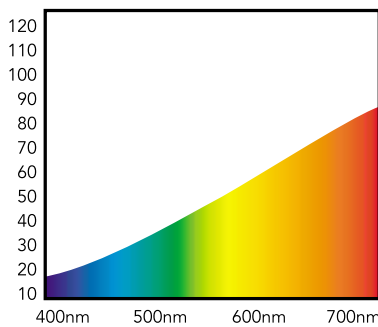
Впоследствии CIE добавил к этому набору типов тип D и гипотетический тип E, а также тип F. Типу D соответствуют различные условия дневного освещения с определенной цветовой температурой. Два таких источника – D_{50} и D_{65} – это стандартные источники, широко применяемые для освещения специальных кабин для просмотра полиграфических оттисков (индексы «50» и «65» соответствуют цветовой температуре 5000°K и 6500°K соответственно).

При проведении цветовых вычислений учитываются также спектральные данные источников света. Хотя источники света по сути являются эмиссионными (излучающими) объектами, их спектральные данные практически ничем не отличаются от спектральных данных отражающих цветных объектов. Соотношение определенных цветов в различных типах источников света можно выяснить путем исследования относительного распределения мощности световых волн с различной длиной волны, представленного в виде спектральных кривых.

Таким образом, описания цвета, составленные по трем координатам, сильно зависят от стандартных цветовых систем CIE и от источников света. В свою очередь, спектральное



«Холодный» свет лампы дневного света



«Теплый» свет лампы накаливания

описание цвета эту дополнительную информацию напрямую не использует. Тем не менее стандарты CIE играют важную роль в процессе преобразования цветовой информации из трехкоординатных данных в спектральные. Давайте рассмотрим подробнее, как соотносятся между собой спектральные и трехкоординатные данные.

СРАВНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ТРЕХКООРДИНАТНЫМИ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Итак, мы с вами рассмотрели принципиальные методы описания цвета. Эти методы можно разделить на две категории:

- Существуют так называемые **спектральные данные**, которые фактически описывают свойства поверхности цветного объекта, показывая, как эта поверхность воздействует на свет (отражает его, пропускает или излучает). На эти поверхностные свойства не влияют условия внешней среды, такие как освещение, индивидуальность восприятия каждого из зрителей и различия в методах трактовки цвета.

- Наряду с этим существуют так называемые **трехкоординатные данные**, которые в терминах трех координат (или величин) попросту

описывают, каким представляется цвет объекта зрителю или сенсорному устройству или как цвет будет воспроизводиться на каком-либо устройстве, например на мониторе или принтере. Цветовые системы CIE, такие как XYZ и $L^*a^*b^*$, задают положение цвета в цветовом пространстве посредством трехмерных координат, в то время как системы воспроизведения цвета, такие как RGB и CMY(+K), описывают цвет в терминах трех величин, задающих количество трех составляющих, которые при смешивании дают тот или иной цвет.

Как формат для спецификации цветов и передачи информации о цвете спектральные данные имеют ряд определенных преимуществ перед трехкоординатными форматами, такими как RGB и CMYK. Прежде всего спектральные данные являются единственным объективным описанием реального объекта, окрашенного в тот или иной цвет. В отличие от них описания в терминах RGB и CMYK зависят от условий осмотра объекта – от типа устройства, воспроизводящего цвет, и типа освещения, при котором этот цвет рассматривается.

Зависимость от устройства

Как мы выяснили, сравнивая различные цветовые пространства,

каждый цветной монитор имеет свой собственный диапазон (или гамму) воспроизводимых цветов, которые он генерирует при помощи RGB-люминофоров. Даже мониторы, изготовленные в одном и том же году одним и тем же производителем, в этом смысле отличаются друг от друга. То же самое относится и к принтерам и их CMYK-красителям, которые, вообще говоря, имеют более ограниченную гамму цветов по сравнению с большинством мониторов.

Чтобы точно специфицировать цвет посредством RGB- или CMYK-значений, необходимо также указать характеристики конкретного устройства, на котором этот цвет будет воспроизводиться.

Зависимость от освещения

Как мы уже говорили ранее, различные источники света, такие как лампы накаливания или дневного света, имеют свои собственные спектральные характеристики. Внешний вид цвета очень сильно зависит от этих характеристик: при разных типах освещения очень часто один и тот же объект выглядит по-разному.

Чтобы точно специфицировать цвет посредством трех значений, необходимо также указать характеристики источника света, при

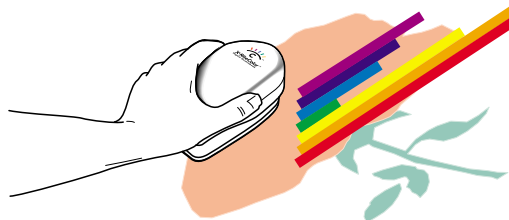
Проблемы с цветом?

Денситометры
Спектрофотометры
Устройства для калибровки
Управление цветом
Формирование красок

Мы Нашли Решения.



Спектрофотометр Digital Swatchbook измеряет процентное содержание спектра, исходящего от объекта.



Таким образом, этот прибор улавливает реальную природу цвета – еще до того, как он будет проинтерпретирован тем или иным наблюдателем.

Внешний вид цвета зависит от наблюдателя и от условий освещения. Способ же воздействия объекта на свет не зависит от этих факторов.

котором цвет будет просматриваться.

Независимость от устройства и условий освещения

В отличие от всего перечисленного выше замеры *спектральных* данных не зависят ни от *устройства*, ни от *освещения*:

Спектральные данные показывают состав света, отраженного от объекта, *до того*, как он интерпретируется наблюдателем или устройством.

Различные источники света выглядят по-разному, когда их свет отражается от объекта, поскольку они содержат разное количество спектра по каждой длине волны. Но объект всегда поглощает и отражает один и тот же *процент* спектра по каждой длине волны независимо от

его объема. Спектральные данные – это и есть замеры этого *процента*.

Таким образом, при замере спектральных данных фиксируются лишь стабильные характеристики поверхности объекта «в обход» тех двух компонентов цвета, которые изменяются в зависимости условий просмотра – источника света и наблюдателя или наблюдающего устройства. Чтобы точно специфицировать цвет, необходимы спектральные данные, то есть нечто реальное существующее и стабильное. В отличие от него RGB- и CMYK-описания являются предметом для «интерпретаций» со стороны наблюдателей и устройств.

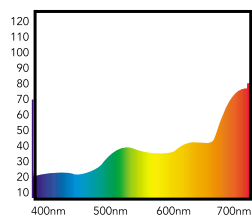
Явление метамерии

Еще одно преимущество спектральных данных – это возможность

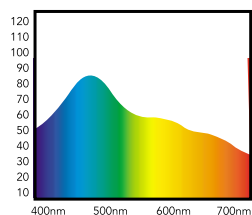
предсказать эффекты, которые будут возникать при освещении объекта различными источниками света. Как было указано выше, различные источники света излучают разные сочетания длин волн, на которые, в свою очередь, различным образом воздействуют объекты. Например, с вами когда-нибудь случалось такое: вы очень тщательно подбирали пару носков к своим брюкам при свете флуоресцентных ламп в универмаге, а потом пришли домой и обнаружили, что при свете обычных ламп накаливания носки к брюкам совершенно не подходят? Этот феномен носит название *метамерии*.

На иллюстрации рассматривается пример метамерического совпадения двух оттенков серого. При дневном свете оба цвета выглядят вполне совпадающими, однако при свете ламп накаливания первый серый приобретает заметный красноватый оттенок. Механизм этого превращения можно продемонстрировать, изобразив графически спектральные кривые обоих цветов и источников света. Сравним спектры этих цветов по отношению друг к другу и к длинам волн видимого спектра.

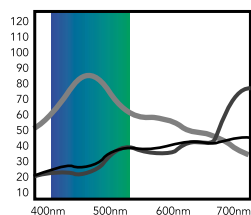
Когда наши образцы освещаются дневным светом, их цвета усиливаются в синей области (выделенная часть) спектра, где кривые очень близки друг к другу. В свете же лампы накаливания большая мощность смещена в красную область спектра, где два образца резко отличаются друг от друга. Таким образом, в холодном свете разница между двумя образцами почти не видна, а при теплом освещении очень заметна. Следовательно, наше зрение может сильно обманываться в зависимости от условий освещения. Поскольку трехкоординатные данные зависят от освещения, эти форматы не могут выявить подобных различий. Только спектральные данные способны четко распознать эти характеристики. **A**



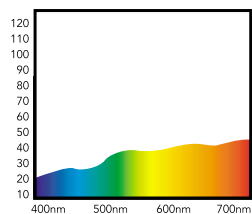
Спектр образца №1



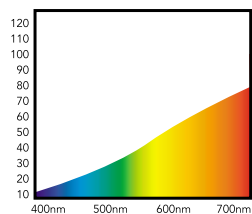
Спектр дневного света



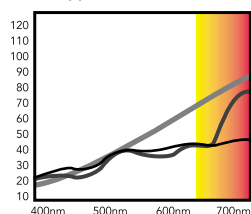
Образцы при дневном свете



Спектр образца №2



Спектр света лампы накаливания



Образцы при свете лампы накаливания