**Цвет и цветовоспроизведение в полиграфии**

Стефан Стефанов

Введение

Нас окружает природа со своим великолепием красок. Вокруг нас зеленая трава и голубое небо. Мир полон ярких цветов, насекомых, и птиц. В жизни человека роль цвета велико и многообразно. Неоспорима и способность эмоционального воздействия цвета на психику человека.

**Цвет и цветные оригиналы в полиграфии**

Основную задачу, которую решают полиграфические технологии это высококачественная печать цветных изображений максимально приближенных по воспроизведению цвета к оригиналу. Совершенству нет предела, особенно когда речь идет о предмете, связанным с восприятием цвета.

Начала любого издания это его оригиналы и от них во многом зависит и качество издания и его общественная значимость. Цветные оригиналы – цветные изображения на плоскости (фотографии, рисунки, слайды, графика, в том числе, и компьютерная) играют особую роль в структуре любого издания, особенно в издания, несущих кроме информационной и эстетической, также и эмоциональной нагрузки, например, в рекламных и политических изданиях. Цветовоспроизведение в полиграфии – воспроизведение (репродуцирование) цветных оригиналов на оттиске, это одна из основных задач для полиграфии. Вся история развития полиграфических технологий и создание различных способов печатания непосредственно связаны именно с решением этой задачи.

Процесс цветного репродуцирования в полиграфии состоит из четырех стадий:

1. Считывание с оригинала информации о цвете каждого микроэлемента изображения и ее представление в виде трех величин, соответствующих пропускаемым (отражаемым) световым потокам в трех зонах видимого спектра – красной, зеленой и синей. Эта стадия называется аналитической.

2. Преобразование изображения в форму, пригодную для последующего воспроизведения на оттиске. Эта стадия включает в себя преобразование цветового пространства (из RGB в CMYK, Pantone, Hexachrome или иную модель), отображение цветового пространства оригинала в пространство оттиска с градационным цветовым преобразованием, обеспечивающим психологически точное воспроизведение цвета. Эта стадия носит название градационной и цветовой коррекции и преобразования.

3. Регистрация (запись) выделенных составляющих (цветоделенных изображений). Запись производится на фотографическом материале, на магнитных носителях, на формных материалах (пластинах) или на формных цилиндрах (в глубокой печати, при цифровой печати, в DI-технологии). Сюда же относятся необходимые технологические преобразования: растрирование, коррекция нелинейности устройства записи и т.д. Эта стадия носит название переходной, или стадии изготовления печатных форм.

4. Собственно печатание изображения на материальном носителе (бумаге, пластике и пр.) и получение оттиска (репродукции). Здесь производится наложение и совмещения цветоделенных изображений, окрашенных в соответствующие цвета применяемого синтеза и формирование изображения на оттиске. Эта стадия определена как синтез цветного изображение на оттиске или печатание.

Цветовоспроизведение в полиграфии основано на общих принципах синтеза цвета. Если на глаз действует смесь излучений, то реакции рецепторов на каждое из них складываются. Смешение окрашенных световых лучей дает луч нового цвета. Смесь красок имеет также иной цвет. Такой эффект получения нового цвета получил название синтез цвета.

Различают два основных вида синтеза цвета – аддитивный (смешение излучений, световых лучей) и субтрактивный синтез цвета (смешение вещественных сред, красок, растворов).

Аддитивный синтез цвета - воспроизведение цвета в результате оптического смешения излучений базовых цветов (красного, зелёного и синего - R, G, B). Используется при создании цветных изображений на экране в телевидении, в мониторах компьютеров издательских систем, возникает на отдельных участках растровых изображений оттиска (в светах изображения, где наложения разноцветных растровых элементов вследствие малых размеров менее вероятно) при автотипном синтезе цвета в полиграфии.

Субтрактивный синтез цвета - получение цвета в результате вычитания отдельных спектральных составляющих из белого света. Такой синтез наблюдается при освещении белым светом, цветного оттиска. Свет падает на цветной участок; при этом часть его поглощается (вычитается) красочным слоем, а остальная часть отражаясь, в виде окрашенного потока попадает в глаз наблюдателя. Этот синтез используется в полиграфии при смешении окрашенных сред, например, красок вне машины, для получения нужных цветов или оттенков на участках изображения при наложении растровых элементов разных красок на оттиске (на участках цветного изображения, где растровые элементы разных красок перекрываются в офсетной и высокой способах печати). В способе традиционной глубокой печати синтез цвета на оттиске по всему изображению является субтрактивным.

Автотипный синтез цвета - воспроизведение цвета в полиграфии, при котором цветное полутоновое изображение формируется разноцветными растровыми элементами (точками или микроштрихами) с одинаковой светлотой (насыщенностью) отдельных печатных красок, но различных размеров и форм. При этом эффект полутонов сохраняется благодаря тому, что тёмные участки оригинала воспроизводятся более крупными растровыми элементами, а светлые - более мелкими. При наложении растровых элементов на оттиске в процессе печатания синтез цвета носит смешенный аддитивно - субтрактивный характер.

Законы синтеза цвета, которые сформулировал Г. Грассман в 1853 г., являются базой научной теории о синтезе цвета. Эти три закона определены как:

1. Закон трехмерности. Любой цвет однозначно выражается тремя цветами, если они линейно независимы (линейная независимость заключается в том, что нельзя получить никакой из указанных трех цветов сложением двух остальных).

2. Закон непрерывности. При непрерывном изменении излучения цвет изменяется также непрерывно (не существует такого цвета, к которому невозможно было бы подобрать бесконечно близкий).

3. Закон аддитивности. Цвет смеси излучений зависит только от их цветов, но не от спектрального состава.

Все три закона наглядно проявляются в процессе синтеза цветных полутоновых изображений на оттиске.

Известно, что трехкомпонентная теория зрения является теоретической базой цветного синтеза при многокрасочном репродуцировании цветных оригиналов средствами полиграфической технологии, где используют триаду цветных красок - желтая (ж), пурпурная (п), и голубая (г). Применение четвертой черной (ч) краски не противоречит принципу трехкрасочного воспроизведения цветов, так как черную краску теоретически и практически можно рассматривать как смесь трех цветных красок. Черная краска одновременно заменяет три цветные и вместе с тем увеличивает их общее количество за один краскопрогон в печатной машине.

В полиграфии при воспроизведении цветных оригиналов способами офсетной и высокой печати ввиду растрового построения многокрасочной репродукции имеет место синтез цветов, содержащий признаки как аддитивного, так и субтрактивного синтезов, где в создании цветовых оттенков на цветной репродукции участвуют 16 разноокрашенных растровых элементов - незапечатанная бумага, три одинарные (основные цветные печатные краски ж, п, г) и черная ч, три бинарные (парные) наложения трехцветных печатных красок - ж+п, ж+г, п+г, двойные наложения цветная + черная - ж+ч, п+ч, г+ч, тройные наложения основных печатных (цветные и черная - ж+п+ч, ж+г+ч, п+г+ч, ж+п+г) красок и их четырехкратное наложение друг на друга с участием черной ж+п+г+ч. Восемь из них образованы с участием черной краски. Как уже было подчеркнута этот синтез назван автотипным, а способы печати, в которых используется этот синтез цвета, определяют как способы автотипной печати. В традиционном способе глубокой печати синтез цвета на оттиске является классическим субтрактивным синтезом.

**Цвет в природе**

Мир – это цвет и все, что мы видим, мы видим при помощи цвета и благодаря цвету. Цвет имеет не только информационную, но и эмоциональную составляющую. Человеческий глаз - очень тонкий инструмент, но, к сожалению, восприятие цвета субъективно. Очень трудно пересказать другому человеку свое ощущение цвета. Цвет можно только видеть. Все мы, хоть один раз в жизни видели, любовались и испытывали особые чувства и волнения перед таким явлением природы как радугой. Эти чувства, которые мы испытываем, нельзя ни пересказать, ни передать другому человеку. Все мы определяем, одним словом: "Смотри!".

Однако что такое цвет? Откуда он появляется, из чего состоит? В чем заключается особенность цвета как одного из наиболее сильных средств информационного, эмоционального и эстетического воздействия? Существуют ли и если существуют, то каковы закономерности восприятия цвета?

**Природа цвета (Цвет как предмет науки)**

Проблемами цвета с глубокой древности и до наших дней занимаются целый ряд научных дисциплин, каждая из которых изучает цвет с интересующей ее стороны. Физику, прежде всего, интересует энергетическая природа цвета, физиологию - процесс восприятия цвета человеком и превращения его в цвет, психологию - проблема восприятия цвета и воздействия его на психику, способность вызывать различные эмоции, биологию - значение и роль цвета в жизнедеятельности живых организмов и растений.

В современной науке о цвете важная роль принадлежит и математике, с помощью которой разрабатываются методы описания и измерения оттенков цвета. Имеется еще ряд научных дисциплин, изучающих роль цвета в более узких сферах человеческой деятельности, например, такие как полиграфия, химия лаков и красок, криминалистика и др. Совокупность всех этих наук, изучающих цвет определяют как область науки о цвете или цветоведение.

**Параметры описания цвета**

Действие на органы зрения излучений, длины волн которых находятся в диапазоне 400-700 нм, приводит к возникновению зрительных ощущений. Эти ощущения различаются, количественно и качественно. Физические свойства излучения - мощность и длина волны - тесно связаны со свойствами возбуждаемого им ощущения. Однако, хотя излучения и ощущения взаимосвязаны, эта связь сложная и подчиняется законам субъективного визуального восприятия светового излучения. Отсюда и деление параметров, характеризующих цвет, на объективные и субъективные.

**Объективные характеристики цвета**

Цвета всех спектральных излучений спектра видимого света располагаются в довольно коротком интервале длин волн излучения: от точки сине-фиолетового излучения с длиной волны 400 нм (нанометров) до точки красного излучения с длиной волны 700 нм.

Если рассматривать свет по волновой теории, то волна кроме длины имеет и вторую характеристику – мощность (амплитуда). Следовательно, из объективных характеристик цвета можно выделить его длины волны излучения и мощности излучения. Излучения, имеющие только одну длину волны, называют монохроматическими излучениями. В интервале длин волн видимого спектра монохроматические излучения определяют как спектральные цвета. Цвета двух монохроматических излучений видимого спектра, образующих белый свет, называют дополнительными цветами.

График цветности с локусом - линией спектральных цветов монохроматических излучений одинаковой мощности и линиями дополнительных цветов монохроматических излучений: желтого (560 им) и сине-фиолетового (450 им); голубого (490 им) и красного (615 им); оранжевого (575 им) и сине-голубого (480 им) приведен на рисунке 1. Внутри локуса располагаются цвета реальных излучений На пунктирной прямой линии, соединяющей две крайние точки локуса, располагаются наиболее насыщенные пурпурные цвета, которые можно получить лишь смешением крайних спектральных излучений красного и сине-фиолетового цвета. Дополнительные цвета располагаются в цветовом круге на прямой линии, проходящей через ахроматическую ось (черный – серый – белый цвет). Так, желтые излучения являются дополнительными к синим, а голубые (сине-зеленые) - дополнительными к красным. К оранжевому цвету дополнительным является сине-голубой. Следует помнить, что смесь двух излучений дополнительного цвета образует белое излучение, а смесь красок дополнительного цвета образует черную или близкую к ней краску.

Мощность излучения для цвета определяется понятием "яркость". Мощность излучения можно рассматривать в двух плоскостях: 1) мощность излучения непосредственно от источника излучения и, 2) мощность излучения от объекта отражающий или пропускающий излучения другого источника. Поверхность и вещество объекта, как правило, меняет мощность и длину волны излучения. Следовательно, яркость – понятие объективное (физическое) и оно характеризуется количеством света, попадающего в глаз наблюдателя от объекта излучающего, пропускающего сквозь себя или отражающего свет.

**Белые поверхности**

В качестве эталона белой поверхности используют баритовые пластины, поверхность которых покрыта сульфатом бария. Баритовая пластинка почти без потерь и практически равномерно по спектру отражает падающие на нее монохроматические (одноцветные) излучения. Близки к ней по отражательной способности пластинки магния, а также поверхности, покрытые цинковыми или титановыми белилами. Другие краски и предметы обладают меньшей отражательной способностью. Даже небольшая разница в коэффициентах отражения белых поверхностей зрительно очень заметна. Если на баритовой пластинке разместить кусочков самой белой мелованной бумаги, то они будут выглядеть по сравнению с этим эталоном как серые. Некоторые виды бумаги в сравнении с эталоном белого цвета зрительно воспринимаются не только темными, но еще и с некоторым цветным оттенком. Количественная характеристика белизны бумаги имеет в полиграфии большое значение. Чем больше белизна бумаги, тем больше и ступеней градации (насыщенности) цветного изображения на оттиске и выше его контраст.

Черные поверхности

Если от поверхности отражается менее 1,5% каждого из монохроматических излучений видимого спектра, то зрительно эта поверхность воспринимается как черная. Однако для практических целей в качестве эталона черного цвета при рассмотрении в отраженном свете используют поверхности, покрытые черным бархатом, а при рассмотрении в проходящем свете - образцы проявленной черно-белой фотопленки. Цвет черных красок зависит от поглощающей способности пигмента - сажи. Чем больше света поглощает пигмент и чем меньше в краске связующего вещества, тем она чернее. Практически нет красок, которые бы равномерно поглощали все монохроматические излучения. Обычно черные краски имеют коричневый или синий оттенок. На цвет черной поверхности влияет также и ее шероховатость. От черных матовых поверхностей падающие лучи отражаются рассеянно, а от глянцевых - направленно. Гладкие черные поверхности мы видим более черными, чем шероховатые, матовые. Поэтому на глянцевых бумагах контраст однокрасочного черно-белого изображения больше и насыщенность черного глубже, сильнее.

Среди излучений сложного спектрального состава видимого света большое значение имеют те, которые образуют белый свет дневного освещения. Белый свет – суммарное излучение с одинаковым по мощности всех монохроматических излучений видимого спектра.

Между белыми и черными поверхностями лежит множество поверхностей, отражающих белый свет неполно от 99% до 1% падающего. Это множество образует ряд серых (ахроматических) цветов. Ряд ахроматических цветов представляет собой серая ступенчатая шкала, которую используют в полиграфии для контроля репродукционных процессов. Поля такой шкалы, полученной на черно-белой фотобумаге, различаются только по светлоте. Светлота – одна из субъективных характеристик видимого света.

**Субъективные характеристики цвета**

Характер ощущения цвета зависит как от суммарной реакции чувствительных к цвету рецепторов глаза (человека), так и от соотношения реакций каждого из трех типов рецепторов. Суммарная реакция чувствительных к цвету рецепторов глаза определяет светлоту цвета, а соотношение ее долей – цветовой тон. С изменением мощности изменяется светлота, а с изменением длины волны – визуально воспринимаемый цветовой тон и насыщенность цвета. Первоначальное представление о светлоте и цветового тона можно проиллюстрировать, поместив окрашенную поверхность частично на прямой солнечный свет, а частично - в тень. Обе части ее имеют одинаковый цветовой тон, но разную светлоту. Совокупность этих характеристик обозначается одним термином "цвет". Из приведенного примера можно сделать вывод, что качественные субъективные характеристики цвета это цветовой тон и насыщенность, а субъективная количественная характеристика – светлота.

Цветовой тон, насыщенность и светлота - это три субъективно воспринимаемых глаза признака хроматических цветов.

Цветовой тон - это субъективный признак цвета, который познается через ощущения и определяется словами - синий, зеленый, красный, желтый и т. д. Цветовой тон предметов, не являющимися источниками излучения, зависит от избирательного спектрального пропускания прозрачных предметов и избирательного спектрального отражения непрозрачных предметов, рассматриваемых в отраженном свете. Цветовой тон источника излучения в видимой области спектра определяется составом видимого спектра излучения. В нашем сознании цветовой тон ассоциируется с окраской хорошо знакомых предметов. Многие наименования цветов произошли прямо от объектов с характерным памятным цветом. Например, такие как малиновый, оранжевый (апельсиновый), вишневый, болотный, сиреневый, розовый, кроваво - красный и т. д. Наши ощущения субъективны и они зависят не только от спектрального излучения, отражения или пропускания, а также от тонкости восприятия, эмоционального состояния, профессионализма, тренированности, национальности и многих других факторов.

Насыщенность цвета - это второй субъективный признак цвета, характеризующий силу, интенсивность ощущения цветового тона. Среди ряда цветов одного тона, например среди синих цветов, можо выделить те, у которых сильнее выражен синий тон; и которые воспринимаются как ярко синими. Насыщенность цвета ассоциируется в нашем сознании с количеством красящего вещества, например, с его концентрацией в краске, а также с его чистотой. Например, увеличивая концентрацию красителя или, иначе говоря, насыщая им раствор, мы тем самым увеличиваем насыщенность цвета этого раствора. Увеличивая содержание пигмента в краске, мы также увеличиваем ее насыщенность.

Насыщенность цвета предметов проявляет себя максимально, если предметы освещены светом этого цвета. Натренированный наблюдатель при дневном освещении различает до 180 цветовых тонов и до 16 ступеней (градаций) насыщенности. (Таким образом, пространство цветового охвата человека состоит из 1880 оттенков чистых цветов, а оттенки смешенных цветов представляют очень большое, но конечное множество цветов.) При пониженном освещении число различимых цветов заметно сокращается. Кроме того, резко меняется представление о цветовом тоне если освещение цветное. Ночью (при голубом лунном свете) все кошки черные.

Ощущения цветности и насыщенности можно приближенно выразить объективными характеристиками излучений. Так, цветовой тон выражают длиной волны монохроматического излучения, который в смеси с белым светом дает такое же зрительное ощущение цвета, как характеризуемый объект. Длина волны этого монохроматического излучения называется доминирующей длиной волны. Насыщенность при этом количественно выражается чистотой цвета, которая представляет собой долю монохроматического потока в смеси его с белым светом. Короче говоря, чистоту цвета определяют отношением мощности монохроматического излучения к мощности суммарных излучений видимого спектра, которые создают заданный цвет. Чем больше мощность монохроматического излучения в смеси и чем меньше мощность белого света, тем выше чистота цвета. Спектральные цвета имеют максимальную чистоту, равную единице. В спектральных цветах мощность белого света равна нулю.

Светлота - третий субъективный признак, характеризующий ощущения объективной величины яркости цвета. Когда одновременно рассматриваются разноокрашенные предметы, мы отчетливо видим, какие из них светлее, какие темнее, хотя они и различны по цветовому тону. Сопоставляя цвета в светах и тенях отдельных предметов, мы видим различия в освещенности и цвета разных участков рассматриваемого объекта. Например, окрашенные в желтые цвета предметы более светлые, а окрашенные в фиолетовые цвета - более темные.

**Хроматические и ахроматические цвета**

Когда излучение раздражает все рецепторы одинаково (единица интенсивности раздражения - "доля участия в белом"), цвет такого излучения воспринимается как белый, серый или как черный. Белый, серый и черный цвета называются ахроматическими. Эти цвета не различаются качественно. Разница в зрительных ощущениях при действии на глаз ахроматических излучении зависит только от уровня раздражения рецепторов. Поэтому ахроматические цвета могут быть заданы одной психологической величиной - светлотой. Если рецепторы разных типов раздражены неодинаково, возникает ощущение хроматического цвета. Для его описания нужны уже три величины – светлота, насыщенность и цветовой тон. Качественные характеристики зрительного ощущения, определяются насыщенностью и цветовым тоном. Ахроматические цвета, т. е. серые, белые и черные, характеризуются только светлотой. Любой хроматический цвет может быть сопоставлен по светлоте с ахроматическим цветом. Чем меньше насыщенность хроматического цвета, тем ближе он к ахроматическому цвету, и тем легче найти соответствующий ему по светлоте ахроматический цвет. Начало и конец ахроматического ряда – это белое и черное.

В обиходном понимании разница между яркостью и светлотой обычно не замечается, и оба понятия рассматриваются почти как эквивалентные. Однако можно заметить некоторое различие в употреблении этих терминов, которое отражает и различие этих двух феноменов. Как правило, слово "яркость" употребляют для характеристики особенно светлых поверхностей, сильно освещенных и отражающих большое количество света. Так, например, об освещенном солнцем листе бумаги или снеге говорят как о ярких поверхностях, а о стенах комнаты как, о светлых. Термин "яркость" также нередко служит для характеристики цвета, причем имеются в виду такие качества последнего, как насыщенность или чистота. Наконец, термин "яркость" преимущественно используется для оценки источников света. В естественнонаучной теории цвета различие между терминами "яркость" и "светлота" достаточно определенно. Светлота это ощущение яркости, в котором важную роль играют конкретные условия индивидуального восприятия. Это понятие, относящееся, прежде всего к компетенции психологии. Одна и та же физическая, объективная яркость может вызывать различные ощущения светлоты, и, наоборот, одна и та же светлота может соответствовать различным степеням яркости.

**Метамерные цвета**

Излучения, которые имеют одинаковый цвет, но различный спектральный состав, называются метамерными. Метамерия цветов это способность нашего зрения видеть различные по спектральному составу излучения одинаковыми по цвету. Излучения, вызывающие одинаковые ощущения цвета в одних условиях восприятия, создают одинаковые ощущения цвета и в других условиях. Но само ощущение цвета может заметно меняться от условий рассматривания и освещения. Мы постоянно видим метамерные цвета. Более того, получение любых цветных изображений, в частности и на оттиске, основано на метамерии. Например, оранжевый цвет можно получить на бумаге оранжевой краской или же наложением слоев двух красок: пурпурной и желтой (последней в большем количестве).

Наибольшей метамерией, т. е. наибольшим разнообразием по спектральному составу, обладают белые излучения источников света. С увеличением насыщенности метамерия цветов уменьшается. Спектральные цвета не имеют метамеров, так как каждый из них создается одним - единственным монохроматическим излучением. Среди красок наибольшей метамерией, т. е. наибольшим разнообразием по спектральному составу, обладают темные, зачерненные цвета.

Уменьшение метамерии цвета с увеличением насыщенности имеет большое практическое значение в полиграфии, особенно при выборе печатных красок и цветоделительных светофильтров, а также при разработке алгоритмов цветоделения.

На метамерии цвета основаны все колориметрические методы, в которых для излучения сложного состава подбирается такая смесь некоторого монохроматического излучения с белым светом, которая зрительно неотличима от него по цвету.

Все репродукционные процессы в полиграфии основаны на том, что всевозможные цвета изображения на оттиске мы воспроизводим смешением нескольких вполне определенных печатных красок. Это возможно потому, что мы видим одинаковыми по цвету различные по спектральному составу излучения.

**Пороговая чувствительность восприятия цвета**

Передача светлотного и цветового контраста во многом зависит от чувствительности глаза, которая непостоянна и способна изменяться под действием внешних и внутренних стимулов. Глаз реагирует не на всякое раздражение, а только на такое, которое достигло определенной величины. Эту минимальную разницу между двумя степенями яркости, которую способен замечать глаз, психологи называют порогом чувствительности. Для того чтобы заметить в натуре и выразить затем тончайшие изменения света и цвета, глаз наблюдателя должен обладать высокой чувствительностью, которая дается от природы и развивается в процессе обучения. Пороговая чувствительность восприятия цвета и положена в основе определения цвета, предложенное известным физиком Шредингером (1920 г.). По Шредингеру, цвет есть свойство спектральных составов излучений, не различаемых человеком визуально.

**Систематизация оттенков цвета**

Потребность в систематизации и классификации цветов возникла давно. Продиктована она была как потребностями практики, так и науки, и, в частности, таких областей научного знания, как химия, биология, минералогия, медицина. Не менее важное значение имеет она и для теории живописи и для практики полиграфии. Многообразие наблюдаемых в природе цветов художники и ученые издавна стремились привести в какую-либо систему - расположить все цвета в определенном порядке, выделить среди них основные и производные.

Самой простой систематикой было расположение цветов в том порядке, в каком они находятся в радуге. Такая попытка и была сделана Ньютоном после того, как он получил видимый цветной спектр путем разложения белого света. Эти цвета Ньютон разделял на однородные, первичные, простые, которые вызываются лучами одинаковой преломляемости, и неоднородные или производные, ощущение которых вызывается лучами различной преломляемости.

Радуга послужили также основой для систематики цветов в виде круга и треугольника. Идея графического выражения системы цветов в виде замкнутой фигуры была подсказана тем, что концы спектра имеют тенденции замкнуться - синий край через фиолетовый переходит в пурпурный, а красный также приближается к пурпурному. В принципе расположение цветов в треугольнике ничем не отличается от расположения их по кругу. В вершинах треугольника располагаются так называемые основные, или "первичные", чистые цвета: красный, синий, желтый. Смешивая их попарно, можно получить "вторичные", или смешанные, цвета: оранжевый, зеленый, фиолетовый. Смешение можно продолжать и далее и получить таким образом, в конечном итоге, цветовой круг. Если в треугольнике провести биссектрисы, а в круге диаметры, то на их противоположных концах будут лежать дополнительные цвета.

Цветовые круг и треугольник обладают и еще одним свойством: оптическое смешение трех основных цветов дает в итоге белый (аддитивный синтез цвета), а при смешении соответствующих красок - черный или темно-серый цвет (субтрактивный синтез цвета).Расположение цветов в виде круга очень удобно и наглядно. Оно широко применяется для объяснения многих закономерностей теории цвета.

В сущности, к системе цветов в виде круга, возможно, неожиданно для самого себя пришел и Гете. Рассматривая свет через призму, он заметил цветовые полосы на границе черного и белого. Это дало ему основание сделать вывод о том, что желтый и синий соответствуют светлому и темному и являются первичными, так как возникли из противоположностей. Красный цвет он рассматривал как усиление желтого, фиолетовый - синего, а зеленый как результат смешения. Пурпурный цвет, по его мнению, возникает путем дальнейшего усиления красного и фиолетового. В итоге у Гете также несколько своеобразным путем возникает цветовой круг, в принципе не отличающийся от круга Ньютона.

Цветовой круг и треугольник, однако, систематизировали лишь чистые, то есть спектральные, цвета. Поскольку каждый спектральный цвет может изменяться также по светлоте и насыщенности, то это потребовало создания такой модели, которая давала бы возможность оценки изменения цветов и по этим параметрам.

В 1772 году немецким ученым Ламбертом была предложена систематизация цветов в виде двойной пирамиды, приблизительно отражающий изменения цвета не только по цветовому тону, но также и по светлоте и насыщенности.

**Количественное описание цвета и различимости отдельных оттенков цвета**

Для многих отраслей производства, в том числе для полиграфии и компьютерных технологий, необходимы более точные количественные методы описания цвета и различимости отдельных его оттенков. Научные теории описания цвета довольно сложны для восприятия и понимания, а также трудно формализуемы. Следовательно, целью систематизации цвета является созданием математических моделей количественного описания различимости оттенков цвета.

В 1931 г. международная комиссия по стандартизации, известная как Международная осветительная комиссия (Commission International de l'Eclerage), сокращенно называемая МОК (СIЕ), предложила систему измерении цвета, которая и применяется с тех пор с небольшими изменениями. Эта система имеет ряд преимуществ: одно из них, наиболее важное, состоит в том, что в математических моделях цвета отсутствуют отрицательные члены. Это значительно уменьшает число ошибок при записи уравнений. Избавиться от отрицательных членов можно только подбором гипотетических, нереальных основных цветов. Это, конечно, очень часто в начале знакомства вызывает небольшие затруднения. Чтобы легче понять этот момент, следует обратить внимание на то, что хотя гипотетических цветов на самом деле реально не существуют, то на цветовой диаграмме (пространство локуса) им соответствуют вполне конкретные точки.

И что это дает на практике? Очень много удобств. Все измерения проводят на реальных основных цветах, а затем результаты с помощью вычислений преобразуют в соответствующие коэффициенты для гипотетических цветов. Суть систем CIE следующая: выбрав в качестве трех основных базовых цветов любые три линейно независимых цвета спектра (см. первый закон Грассмана в начале статьи) и соединив их прямыми линиями, получим треугольник. (Математическая модель системы CIE линейная, следовательно, простая, но и с ограниченной точностью.) Из-за кривизны линий локуса, на которых лежат спектральные цвета, некоторые цвета всегда будут выпадать из этого треугольника и в соответствующих цветовых уравнениях обозначаться отрицательными величинами. По этой причине СIЕ выбрала в качестве основных гипотетические цвета и расположила их по осям X, Y и Z таким образом, чтобы вся область между боковыми сторонами и "пурпурной" прямой лежала внутри треугольника XYZ.

Измерения проводят на существующих основных цветах, а затем путем несложных преобразований их пересчитывают. Основное преимущество такой системы состоит в том, что измерения можно проводить с использованием любых основных цветов, но если затем преобразовать их в систему стандартных цветов, то измерения, проведенные в различных лабораториях, можно сопоставлять друг с другом. Выбор основных цветов системы СIЕ XYZ приводит к получению стандартной диаграммы цветности СIЕ. В действительности всю систему количественного измерения цвета СIЕ можно графически представить как набор величин трех параметров – цветовой тон, насыщенность и яркость (светлота), которые определяют и реальные цвета.

Базой построения системы CIE XYZ послужило цветовое тело, построенное художником Манселлом и его цветовой атлас, сыгравший огромную роль в изучении, описании и систематизации оттенков цвета.

**Модели описания различия цветовых оттенков**

Цвета и цветовые различия могут быть выражены с помощью различных математических моделей. Наиболее часто на практике используются четыре модели описания цвета: RGB, CMYK, Lab, HSV (HSL, HSB).

Модель RGB

Все оттенки цвета видимого спектра можно получить из сочетания трех основных монохроматических излучений – красного, синего и зеленого. При смешении двух основных цветов, а также при смешении двух основных с добавлением третьего основного цвета результат осветляется: из смешения красного и зеленого получается желтый, из смешения зеленого и синего получается голубой, синий и красный дают пурпурный. Если смешиваются одинаковые по количеству излучения всех трех цветов, то в результате получается белый свет. Поэтому такие цвета называются аддитивными (суммарными), а синтез цвета аддитивным. Эта модель применима для описания цвета синтезированного в проходящем или прямом (излучаемом) свете. Визуальное восприятие цвета по некоторым теориям тоже основано на модели RGB. Модель RGB обозначена по первым буквам английских слов Red (Красный), Green (Зеленый), Blue (Синий). Эта модель представляется в виде трехмерной системы координат. Каждая координата отражает вклад каждой составляющей в результирующий цвет в диапазоне от нуля до максимального значения. В результате получается куб, внутри которого и "находятся" все цвета, образуя цветовое пространство RGB.

Важно отметить особенные точки и линии этой модели. Начало координат: в этой точке все составляющие равны нулю, излучение отсутствует, а это равносильно темноте, то есть это точка черного цвета. И вторая точка, где все составляющие имеют максимальное значение, что, как уже выяснили, дает белый цвет. На линии, соединяющей эти точки (по диагонали), располагаются ахроматические цвета (серые оттенки): от черного цвета до белого. Это происходит потому, что все три составляющих одинаковы и располагаются в диапазоне от нуля до максимального значения. Такой диапазон иначе называют серой или ахроматической осью. В компьютерных технологиях сейчас чаще всего используются 256 градаций (оттенков) серого. Хотя некоторые сканеры имеют возможность распознавать и кодировать при сканировании изображения до 1024 оттенка серого.

Три вершины куба дают чистые исходные цветовые излучения, остальные три отражают двойные смешения исходных излучений. Именно в этой модели кодирует изображение сканер и отображает рисунок экран монитора. На базе этой модели работает телевидение.

Модель СМУК

Все оттенки цвета видимого спектра можно получить и при смешении не излучений, а веществ – красок, лаков, растворов. В полиграфии для создания цветного изображения на оттиске наносят на белую бумагу краски различного цвета. Белый свет, падающий на оттиск, проходит сквозь красочный слой, отражается от поверхности бумаги и снова проходит сквозь красочный слой уже определенного цвета, который визуально воспринимается. Этот цвет называют отражаемым. Отраженные цвета возникают не путем излучения, а получаются из белого света, путем вычитания из него определенные цвета. Отраженные цвета называются также субтрактивными ("вычитательными"), поскольку они остаются после вычитания основных аддитивных, а синтез цвета субтрактивным. Понятно, что в таком случае и основных субтрактивных цветов будет три: голубой, пурпурный и желтый. Эти цвета составляют так называемую полиграфическую триаду печатных красок. При печати с использованием красок этих цветов они поглощают красную, зеленую и синюю зоны спектра белого света и, таким образом, большая часть видимого цветового спектра может быть воспроизведена (репродуцирована) на бумаге при печатании многокрасочного оттиска с использованием трех печатных красок – желтой, пурпурной и голубой.

При смешениях двух субтрактивных цветов (красок) результирующий цвет затемняется, а при смешении всех трех должен получиться черный цвет. При полном отсутствии краски, надо полагать, получится белый цвет (цвет белой бумаги). В итоге получается, что нулевые значения составляющих дают белый цвет, максимальные их значения должны давать черный цвет, их равные значения - оттенки серого, кроме того, имеются чистые субтрактивные цвета и их двойные сочетания. Это означает, что модель, в которой они описываются, похожа на модель RGB. Геометрический образ модели CMYK это тот же "куб", в котором переместилось начало координат. Если абстрактно, и для более легкого запоминания по аналогии с моделью RGB, то это так.

Проблема заключается в другом, в реальности и чистоте цвета реальных красок. Данная модель описывает реальные полиграфические печатные краски, которые, увы, далеко не так идеальны, как цветные излучения. Они имеют примеси, растворители, связующие и поэтому не могут полностью перекрыть весь видимый цветовой диапазон спектра белого света, а это приводит, в частности, к тому, что смешение трех основных красок, которое должно давать черный цвет, дает какой-то неопределенный темный цвет, точнее темно-коричневый, чем истинно черный цвет. Для компенсации этого недостатка в число основных полиграфических красок была введена черная краска. Именно она добавила последнюю букву в название модели СМУК, хотя и не совсем обычно: C – Cyan; M – Magenta; Y – Yellow и K – Key color (по одной версии) или blacK (по другой версии).

Таким образом, модели RGB и СМУК, хотя и связаны друг с другом, однако, их взаимные переходы друг в друга (конвертирование) не происходят без потерь. Тем более, что цветовой охват у CMYK меньше вследствие более низкой чистоты основных красок по сравнению с основных излучений RGB. Это вызывает необходимость выполнения сложных калибровок всех аппаратных средств издательских компьютерных систем, требующихся для работы с цветом: 1) сканера (он осуществляет ввод изображения); 2) монитора (по нему судят о цвете и корректируют его); 3) выводного устройства (оно создает фотоформы или печатные формы при подготовке издания к печати). Так же необходима калибровка (нормализация процесса печатания) полиграфического оборудования – печатной машины (выполняющей конечную стадию - печать).

Модель HSB (HSL, HSI, HSV)

На цветовом круге основные цвета моделей RGB и СМУК находятся в такой зависимости: каждый цвет расположен напротив дополняющего его цвета; при этом он находится между цветами, с помощью которых он получен. Например, сложение зеленого и красного цветов дает желтый цвет. Чтобы усилить какой-либо цвет, нужно ослабить дополняющий его цвет (расположенный напротив него на цветовом круге). Например, чтобы изменить общее цветовое решение в сторону голубых тонов, следует снизить в нем содержание красного цвета.

По краю этого цветового круга располагаются так называемые спектральные цвета или цветовые тона (Hue), которые определяются длиной световой волны излучения, света отраженной от непрозрачного объекта или прошедшей через прозрачный объект.

Насыщенность (Saturation) - это параметр цвета, определяющий его чистоту. Если по краю цветового круга располагаются максимально насыщенные цвета (100%), то остается только уменьшать их насыщенность до минимума (0%). Уменьшение насыщенности цвета означает его разбеливание (для излучений). Цвет с уменьшением насыщенности становится пастельным, блеклым, размытым. На модели все одинаково насыщенные цвета располагаются на концентрических окружностях, то есть можно говорить об одинаковой насыщенности, например, зеленого и пурпурного цветов, и чем ближе к центру круга, тем все более разбеленные получаются цвета. В самом центре любой цвет максимально разбеливается, проще говоря, становится белым светом или очень к нему близким. Работу с насыщенностью можно характеризовать как добавление в спектральный цвет определенного процента белого света. И чем больше процент белого света, тем больше разбеливается цвет и тем ниже его насыщенность, но отсутствие белого затемняет цвет и делает его зачерненным, тоже снижая его насыщенность.

Яркость (Brightness, Intensity, Luminance) - это объективный (измеряемый) параметр излучаемого цвета, определяющий освещенность или затемненность цвета. Его субъективный аналог это светлота. Все цвета рассмотренного выше цветового круга имеют максимальную яркость (100%), и ярче уже быть не могут. Как и в случае с насыщенностью, остается только уменьшать яркость до минимума (0%), чтобы получить черный цвет. Уменьшение яркости цвета означает зачернение этого цвета. Чтобы отобразить это на модель необходимо координату направить вниз. В результате получается конус (рис. 3) или шар, в зависимости от критерия отсекания серых цветов.

После всего сказанного понятно, что за основу модели можно взять не отдельные цвета, а параметры, характеризующие цвет. В общем случае, любой цвет получается из спектрального цвета добавлением определенного процента белой и черной красок, то есть фактически серой краски.

Эта модель уже гораздо ближе к традиционному пониманию работы с цветом. Можно определять сначала цветовой тон, а затем насыщенность и яркость (светлоту). Такая модель получила название по первым буквам приведенных выше английских слов – HSB (HSI, HSL или HSV). Буква V появилась от английского слова Value (значение, величина, поглощение). Все четыре обозначения – это разные обозначения в литературе одной и той же модели цвета.

Модель HSB неплохо согласуется с восприятием человека: цветовой тон является эквивалентом длины волны света, насыщенность - интенсивности волны, а яркость - количества света. Недостатком этой модели является необходимость преобразовывать ее в модель RGB для отображения на экране монитора или в модель СМУК для получения полиграфического оттиска.

Модель CIE L a b

Есть еще одна цветовая модель, которая называется L a b. Она была создана Международной комиссией по освещению (CIE) с целью преодоления существенных недостатков вышеизложенных моделей, в частности, она призвана стать аппаратно независимой моделью и определять цвета без учета индивидуальных особенностей (профиля) устройства (монитора, принтера, печатной машины и пр.). В этой модели любой цвет определяется светлотой (Luminance) и двумя хроматическими компонентами: параметром а, который изменяется в диапазоне от зеленого до красного, и параметром в, изменяющимся в диапазоне от синего до желтого. Геометрический образ модели CIE L a b, как и предыдущая модель HSB – шар.

В этой модели цвет определяется одной количественной (мощностью излучения, яркостью, светлотой) и двумя качественными характеристиками, но не в виде отдельных монохроматических излучений, а половинками интервала спектра излучений видимого света. Программа Adobe PhotoShop использует эту модель в качестве посредника при любом конвертировании из модели в модель. Точнее, модель CIE Lab принята фирмой Adobe для языка PostScript Level 2.

В качестве заключения после столь подробного ознакомления с понятиями и моделями, характеризующими цвет, хочется привести только одну емкую фразу из труда Гете "Учение о цвете", определяющая значение явления, которые мы называем словом "цвет": Все живое тянется к цвету.