

# ПРИРОДА СВЕТА И ЦВЕТА

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВЕТА

Электромагнитное излучение распространяется в пространстве в виде энергии электрической и магнитной природы. Эта энергия может проявляться либо как волна, либо в форме частицы под названием фотон. Рассматривая энергию с волновой точки зрения, мы можем описать её через длину волны, то есть расстояние от пика одной волны до пика другой. Длина волны электромагнитного излучения находится в диапазоне от километра (радиоволны), сантиметра (в микроволновой печи), миллионной доли сантиметра (световые волны) и до миллиардной доли сантиметра (рентгеновские лучи).

Длина световой волны обычно выражается в нанометрах (нм). Один нанометр равен одной миллиардной метра. Видимый свет имеет длину волны от 400 до 700 нм. Данный диапазон называется видимым спектром.

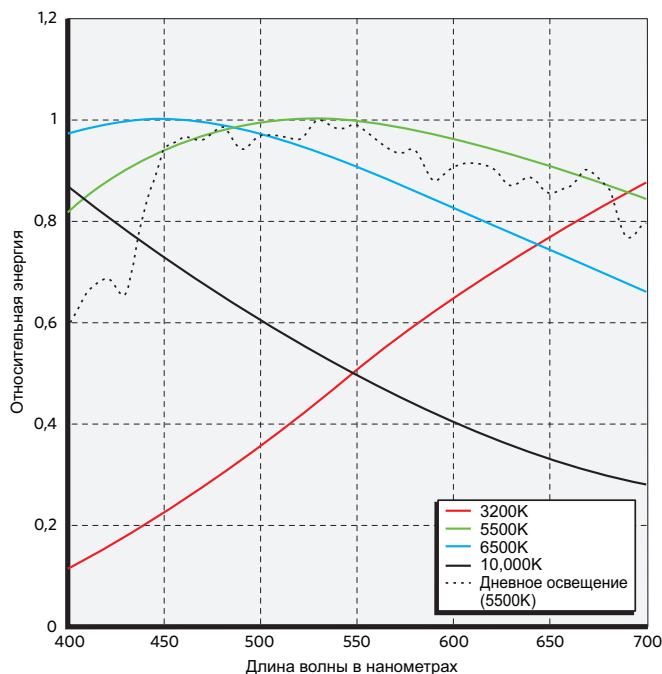


Электромагнитное излучение видимого спектра обычно генерируется одним из следующих источников:

- Источники накаливания. Типичным примером являются вольфрамовые лампы накаливания.
- Газоразрядные источники, такие, как флуоресцентные, металлогалогенные, такие как HMI (Hydrargyrum medium Arc-length Iodide), ртутные, и неоновые лампы.
- Солнце. (Собственно, солнце можно классифицировать как "источник накаливания", поскольку оно испускает свет благодаря своему раскалённому состоянию. Однако фотографическое сообщество термин "накаливание" применяет к искусственным источникам света).

Абсолютно все предметы испускают электромагнитные волны. При нагревании объект испускает относительно больше коротких, чем длинных волн электромагнитного излучения. Именно это свойство света позволяет колориметру измерять цветовую температуру света. Следующий рисунок иллюстрирует длину волн видимого спектра относительной энергии, излучаемой на каждой длине волны при различных значениях цветовых температур и при дневном свете - 5500 К. При цветовой температуре 3200К имеем относительно большую долю длинноволнового излучения и относительно малое количество коротких волн. По мере увеличения цветовой температуры до 5500, 6500 и 10000К соответственно, относительное количество длинноволновой энергии уменьшается, а относительное количество коротковолнового излучения растёт.

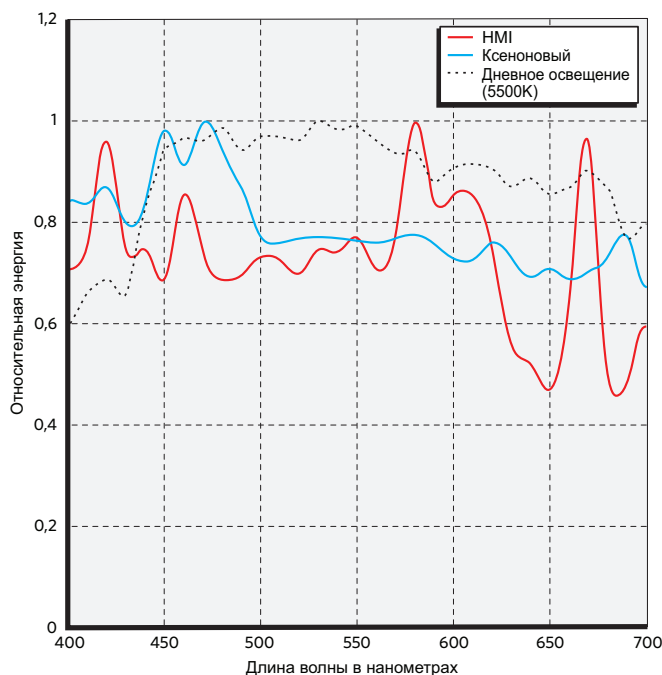
Кривая, отражающая излучение естественного дневного света с цветовой температурой 5500К не выглядит столь же пологой как кривая прибора дневного света 5500К, поскольку естественный дневной свет есть совокупность энергии, излучаемой солнцем, энергии, поглощенной земной атмосферой, и энергии, рассеянной частицами в земной атмосфере.



Кривые относительной спектральной энергии для излучений с различными цветовыми температурами.

Когда электроны в молекуле твёрдого тела или газа находятся в возбужденном состоянии, они совершают квантовый переход на более высокий энергетический уровень в атоме или молекуле. Через определенный промежуток времени электроны возвращаются на свой нормальный энергетический уровень, а разницу в энергии уровней испускается в виде электромагнитного излучения.

Излучаемая энергия часто находится в диапазоне видимого спектра. На рисунке (ниже) показаны кривые спектрального распределения для металлогалогенной и ксеноновой ламп в сравнении со спектральной кривой естественного дневного света (5500K).



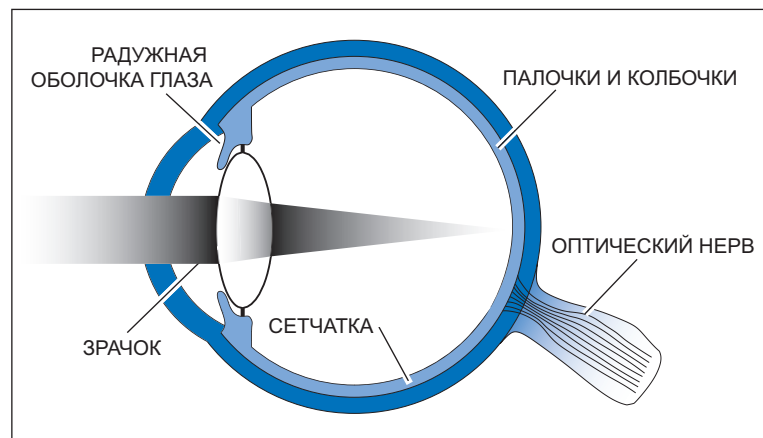
Относительные кривые спектрального распределения энергии для металлогалогенной (HMI) и ксеноновой ламп в сравнении со спектральной кривой естественного дневного света 5500K

Когда свет падает на объект, он может им пропускаться, поглощаться или отражаться. Во многих случаях имеют место все три способа взаимодействия света с объектом. Степень пропускания, поглощения или отражения определяются длиной световой волны. Например, кусок прозрачного стекла пропустит световые волны любой длины, достигшие его поверхности. В случае цветного стекла одни длины волн будут поглощены, другие - пропущены. Если в стекле будут содержаться мелкие частицы, то световые волны одной длины могут быть поглощены, другой - пропущены, и все будет отражаться в толще стекла. В таком случае мы определили бы стекло как объект одновременно и окрашенный, и непрозрачный. Лист цветной бумаги отражает одну длину световых волн, поглощает другую и не пропускает свет вовсе.

Если свет падает на поверхность светопропускающего объекта под углом, отличным от прямого, то луч света при выходе из него будет отклоняться (преломляться) относительно угла входа в объект. Это свойство света позволяет объективу фокусировать световые лучи на поверхности, например, пленки, используемой для фотографирования объекта. Кроме того, вышеуказанное отклонение для коротких длин волн выражается сильнее, чем для излучения длинноволнового диапазона. Именно это свойство света лежит в основе такого природного явления как радуга. Стоит лучу света попасть на каплю воды как он преломляется на её поверхности. Затем он отражается от противоположной поверхности капли, и на выходе из нее вновь подвергается преломлению. Поскольку короткие световые волны преломляются в большей степени, чем длинные, то они, интерферируя, распространяются в небе, и мы видим радугу.

## ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА

Когда отраженный от объектов сцены свет достигает ваших глаз, начинается процесс его зрительного восприятия. Хрусталик вашего глаза фокусирует свет от объекта в виде его изображения на сетчатке. Сетчатка располагает двумя видами клеток для восприятия света: палочки и колбочки. Эти микроскопические сенсоры распределены по всей сетчатке, и каждый вид клеток служит строго определенной цели. Палочки и



колбочки преобразуют свет в бесконечно малые электрические импульсы, восходящие по нервным волокнам к мозгу. В мозгу они преобразуются в матрицу, имеющую форму и цвет наблюдаемого объекта. Все палочки имеют одинаковую чувствительность к световым волнам разной длины и поэтому не могут различать цвет объекта.

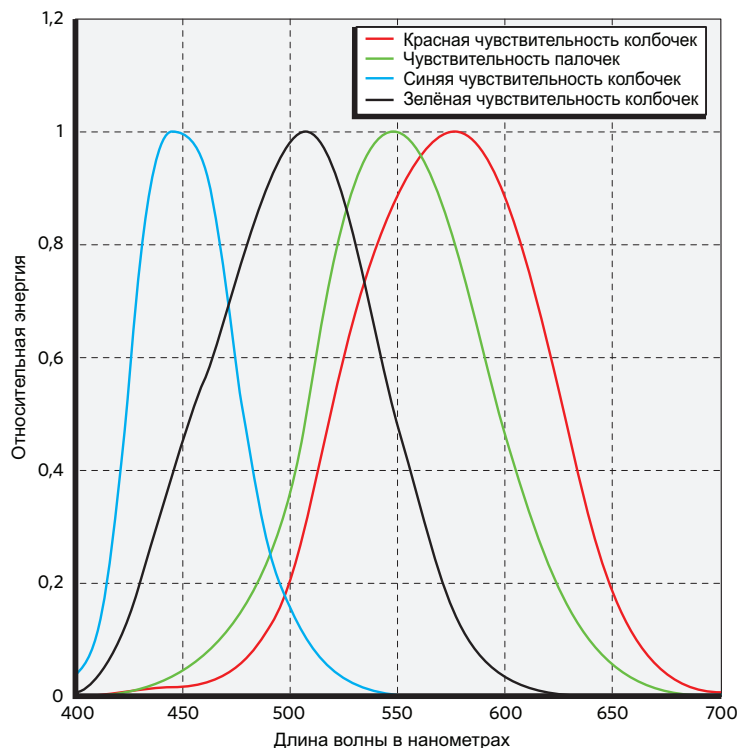
Все предметы они “видят” в оттенках серого света. Поскольку палочки весьма чувствительны к свету - гораздо более чувствительны, чем колбочки – то они позволяют нам видеть при крайне низком освещении, например, ночью, только лишь при луне и звездах. При ярко освещенных сценах палочки слепятся падающим светом и перестают продуцировать сигнал, используемый мозгом в процессе зрительного восприятия. В этом случае полезная информация поступает в мозг только от колбочек.

Существует три вида колбочек: с максимумом чувствительности в длинноволновой области видимого спектра; с максимумом чувствительности в области средних длин волн видимого спектра; и, наконец, с максимумом чувствительности в коротковолновой области видимого спектра.

Мы различаем яркость света по интегральному уровню сигнала, поступающего от всех трёх типов колбочек. Цвет мы распознаём по относительным уровням сигналов, поступающих от трех видов колбочек. Когда стимулируются преимущественно колбочки, чувствительные к длинным волнам, мы видим красный цвет; когда стимулируются преимущественно колбочки, чувствительные к средним длинам волн, мы видим зеленый; и когда стимулируются преимущественно колбочки, чувствительные к коротким длинам волн, мы, соответственно, видим синий цвет. Поскольку имеется только три вида колбочек, то все наше зрение базируется на различении трех названных цветов. Отсюда большинство цветов описывается как светлые или темные и как сочетание двух цветов, например, красного

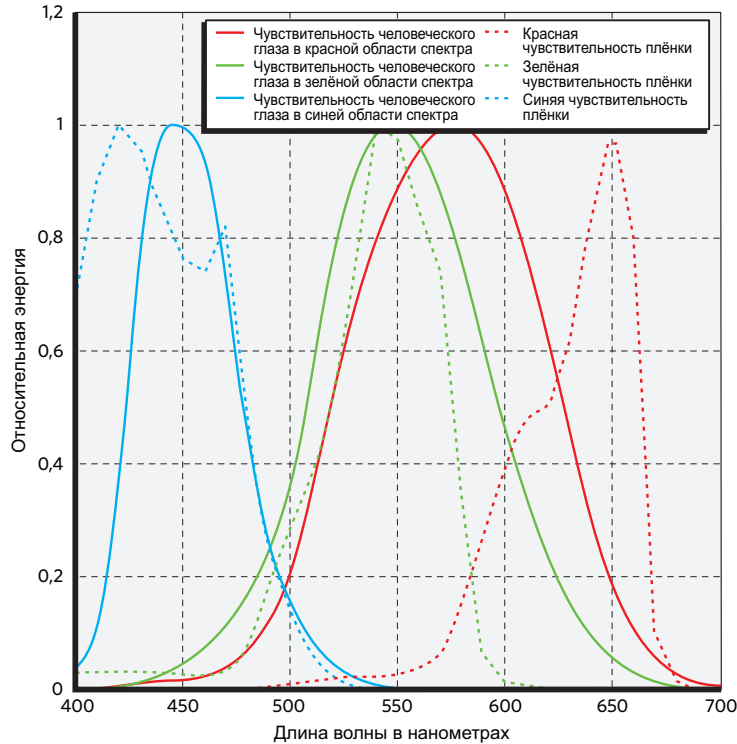
и синего (красновато-синий или синевато-красный). Из-за специфики обработки цветовых сигналов от колбочек в нашем мозгу, мы в то же время не можем видеть зеленовато-красный или красновато-зеленый цвета. Комбинация красного и зеленого цвета воспринимается мозгом как желтый цвет. Поэтому подобный объект выглядит зеленовато-желтым или желтовато-зеленым. Такое ощущение является результатом поступления разного числа сигналов от красночувствительных и зеленочувствительных колбочек. Когда же количество таких сигналов совпадает, мы видим желтый цвет без примеси красного или зеленого.

На рисунке (ниже) показана чувствительность палочек и колбочек трех типов к различным длинам волн видимого спектра.



Спектральная чувствительность палочек, а также красночувствительных, зеленочувствительных и синечувствительных колбочек человеческого глаза.

Спектральная чувствительность эмульсии пленки аналогична чувствительности колбочек. На рисунке (ниже) приведён график сравнения спектральной чувствительности колбочек глаза со спектральной чувствительностью пленки. Имеется ряд причин, объясняющих присутствующее на графике различие спектральных характеристик. Широкое поле взаимного перекрывания графиков чувствительности красных и зеленых колбочек требует от мозга большого объема работы по обработке информации об изображении для создания чёткого впечатления красного и зеленого цветов. Эмульсия пленки по своей природе не способна к такой же обработке и интерпретации информации об изображении. Отсканированное с плёнки изображение могло бы, теоретически, обрабатываться почти по такому же алгоритму, как сигналы от колбочек обрабатываются мозгом, но такая обработка усилит зернистость (цифровой шум) на результирующем изображении. Кроме того, поскольку просмотр кинофильма обычно происходит при меньшем, чем во время процесса съёмки освещении, то цвет приходится искусственно усиливать, дабы проецируемые киноизображения выглядели естественно. Для химико-фотографического или цифрового усиления насыщенности цвета результирующего изображения на киноплёнке гораздо проще и практичнее скорректировать спектральную чувствительность самой эмульсии пленки.



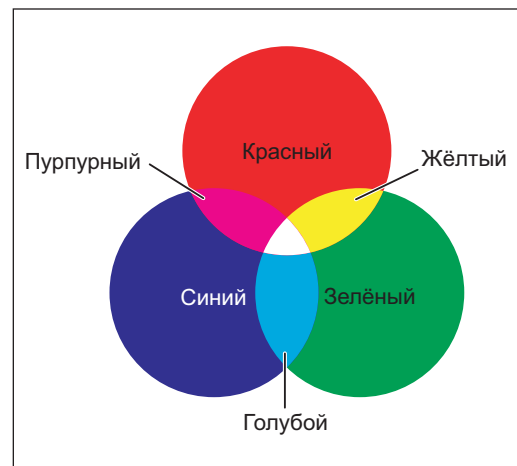
Спектральная чувствительность колбочек человека и красночувствительный, зелёночувствительный и синечувствительный слои цветной киноплёнки

## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦВЕТА

Существует две основные системы воспроизведения цвета: система аддитивного цветовоспроизведения и система субтрактивного цветовоспроизведения.

### Дополнительные цвета

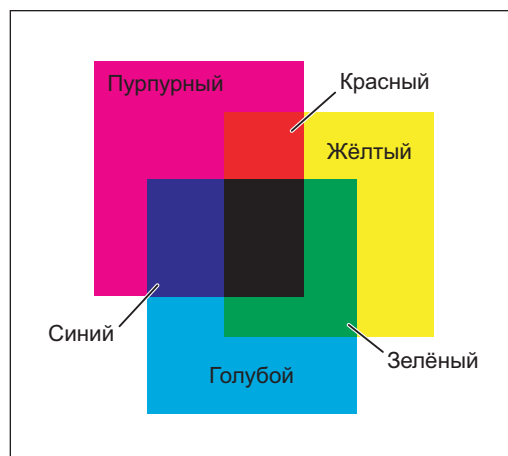
В аддитивной системе цветовоспроизведения цвета получаются путем смешения светов, окрашенных в один из основных (первичных) цветов: красный, зеленый или синий (КЗС, RGB). При полном отсутствии этих цветов получается черный цвет. Если же все цвета представлены с максимальной своей интенсивностью, результирующим является белый цвет. Все цвета, которые могут быть получены с помощью аддитивной трехцветной системы, являются, соответственно, комбинациями трех основных цветов. Будучи смешаны в различных соотношениях, основные цвета аддитивной системы - красный, зеленый и синий - обеспечивают ту цветовую палитру, которую мы видим. Телевизионный монитор и цифровой проектор являются наиболее известными и распространёнными примерами системы аддитивного цветового синтеза.



На участках наложения двух основных цветов появляется вторичный, смешанный цвет. При наложении зеленого и синего цветов получается голубой цвет. Синий и красный цвета при смешивании дают пурпурный. И, наконец, красный и зеленый – соответственно, желтый цвет. При смешении в равной пропорции красного, зеленого и синего света получается белый свет. Отсутствие всех трех цветов дает черный цвет. Смешивая два или три основных цвета аддитивной системы в различных пропорциях или с разной интенсивностью, получаем всю гамму промежуточных цветов.

## Субтрактивные цвета

Система субтрактивного цветовоспроизведения воспроизводит цвета путем вычитания определённой длины волны из спектра белого цвета. Тремя основными цветами субтрактивной системы являются Голубой (cyan), Пурпурный (magenta) и желтый (Yellow) (ГПЖ, СМУ). При полном отсутствии этих цветов получается белый цвет, так как из белого ничего не вычиталось. Если все названные три цвета присутствуют в свете в максимальных количествах, то получается чёрный, поскольку из белого света вычитаются все его составляющие. Все цвета, которые могут быть получены с помощью трехцветной субтрактивной системы, являются комбинациями этих трех основных субтрактивных цветов.



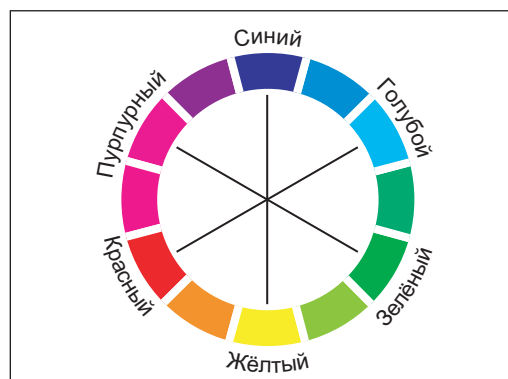
Система субтрактивных цветов на практике обычно ассоциируется с системами, использующими для цветовоспроизведения химические вещества, например, чернила или красители для бумаги, или красители нанесённые на прозрачную основу пленки (слайдовая пленка, негативная и позитивная киноплёнки). Видимые глазом цвета субтрактивного синтеза, получаются благодаря отражению или пропусканию, но не поглощению волн определенной длины. Голубой (Cyan) цвет поглощает красный и отражает или пропускает зеленый и синий; Пурпурный (Magenta) поглощает зеленый и отражает или пропускает красный и синий, а Желтый (Yellow) поглощает синий и отражает или пропускает красный и зеленый цвет.

Дополнительные цвета, это цвета, поглощаемые основными субтрактивными цветами (и наоборот). Дополнительным цветом Голубого (Cyan) является Красный (Red), Пурпурного (Magenta) – Зеленый (Green), Желтого (Yellow) – Синий (Blue). Мы видим именно отраженный или пропущенный свет. Поэтому комбинация пурпурного и желтого фильтров выглядит красной, ибо пурпурный цвет поглощает зеленый, а желтый поглощает синий. Остается только красный цвет, который мы, собственно, и воспринимаем.

## Цветовой круг (палитра цветов)

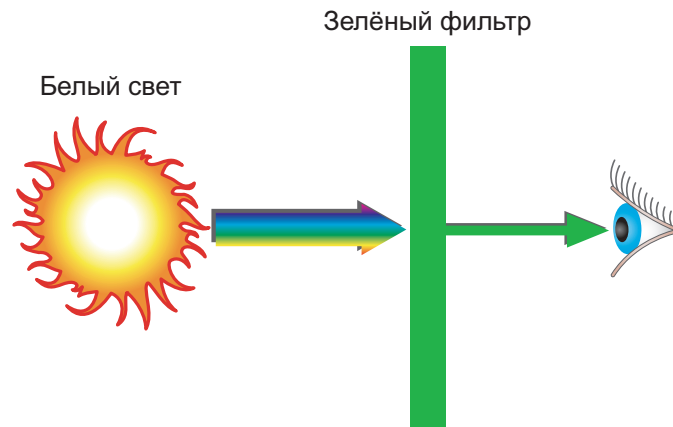
На цветовом круге дополнительные цвета расположены друг напротив друга. Комбинируя дополнительные цвета в разных пропорциях, можно создавать неограниченное количество промежуточных оттенков.

Дополнительным цветом красного является голубой. Таким же образом, чтобы убрать из изображения ненужный красный оттенок, можно добавить голубого. Чтобы сделать изображение более красным, можно либо вычесть часть голубого цвета, либо еще добавить красного.

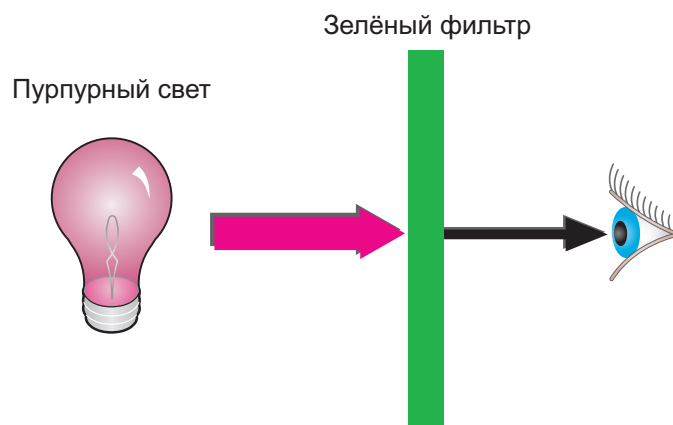


## ЦВЕТ И ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Пропускающие свет объекты, например, витражное стекло или проецируемая на экран киноплёнка пропускают волны одной длины и поглощают волны другой. Мы видим именно волны той длины, которые проходят через объект, и именно они определяют его цвет. Например, кусок зеленого стекла (или зеленый фильтр) поглощают большую часть света в синей и красной области спектра, но пропускает его зеленую составляющую.



Источник пурпурного света дает в этом случае другой результат. Зеленый фильтр поглощает большую часть пурпурного цвета, и фильтр становится визуальным черным. Цветопередача объекта является результатом взаимодействия его реального цвета и имеющегося источника освещения.



Регулируя интенсивность окраски фильтра, мы можем контролировать поток проходящего через него света. Интенсивный зеленый фильтр поглощает практически весь пурпурный свет. По мере уменьшения интенсивности фильтра через него проходит всё больше пурпурного света. Фильтрация применяется для регулирования цветовой характеристики света во время экспозиции и при проекции на экран.

## ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Цветовая температура, выраженная в градусах по Кельвину, может быть измерена с помощью прибора - колориметра. Для того, чтобы иметь возможность компенсировать разницу в цветовых температурах источников освещения при съёмке, пленка при ее производстве балансируется для строго определённой цветовой температуры. При экспозиции с использованием ламп накаливания или при дневном свете соответствующим образом сбалансированная пленка воспроизводит цвета правильно.

Эмульсия, сбалансированная для дневного освещения используется в случаях, когда основным источником освещения является, дневной солнечный свет, небо или металлогалогенные приборы (HMI), свет от которых близок по характеристикам к дневному. Пленка, сбалансированная для искусственного света, используется при съёмке сцен, в которых первичным источником света являются лампы накаливания. Поскольку дневной свет имеет сравнительно плоскую спектральную характеристику, что означает примерно равномерное распределение энергии для всех длин

волн в красной, зелёной и синей области спектра, то чувствительность дневной киноплёнки к красному, зеленому и синему цветам является примерно одинаковой. Ввиду того, что спектральная кривая ламп накаливания показывает значительно большую интенсивность излучения в красном спектральном диапазоне, чем в синем, спектральные характеристики эмульсии, сбалансированной для искусственного освещения, регулируется таким образом, чтобы ее чувствительность к синему цвету была, соответственно, выше, чем к красному.

Для регулирования цветового баланса света, падающего на пленку, на объектив камеры или источник света могут быть установлены фильтры. Таким образом, пленка может использоваться не только с источниками света, для которых изначально предназначалась, но и с другими источниками. Каждый фильтр имеет свою, заранее известную, характеристику пропускания, вследствие чего пропускает волны одной определённой длины и блокирует другие.

В спецификациях к пленке содержатся основные рекомендации по применению основного коррекционного фильтра для наиболее типичных источников света. Для проверки результата в любом случае целесообразно провести контрольное испытание в реальных условиях съёмки.

В случае обрабатываемой пленки цветовой баланс света в особенности критичен. Фильтры применяются даже для незначительных изменений цвета. Изображения, снятые на цветных негативных пленках преобразуются в позитивные копии или переносятся на различные электронные носители. При этом нужные корректировки могут производиться либо на этапе копирования, либо оператором цветокоррекции (колористом) на соответствующем оборудовании для цифрового постпроизводства.

Человеческий мозг способен регулировать уровень поступающих с колбочек сетчатки глаза сигналов в зависимости от интенсивности падающего на них света. При малой интенсивности сигнала мозг повышает их уровень; когда же интенсивность сигналов слишком высока - снижает. Благодаря этому белый предмет визуально выглядит белым как при дневном свете, так и с лампами накаливания. Мозг постоянно корректирует цветовой баланс каждой рассматриваемой сцены таким образом, чтобы он оставался верным даже при переменной освещённости.

## Пределы измерения цветовой температуры

Цветовая температура (в Кельвинах) имеет отношение лишь к видимой части спектра излучения источника света, но не к его фотографическому эффекту. Например, некоторые источники сильно излучают в ультрафиолетовом диапазоне. Но эту часть эмиссии параметр "цветовая температура" не характеризует, поскольку глаз не имеет чувствительности к излучению с длиной волны менее 400 нм. Поскольку эмульсия киноплёнки обычно чувствительна к ультрафиолетовому излучению, отснятая сцена может страдать избытком синевы, если ультрафиолетовый свет не будет отфильтрован. Также, различные источники света могут иметь одинаковую цветовую температуру, но полученные при фотографировании результаты могут оказаться разными.

Цветовая температура не учитывает спектральное распределение источника света. Цветовая температура не учитывает спектральное распределение источника света. Если источник света не обладает непрерывным спектральным распределением, его эффективная цветовая температура сама по себе не может быть надежным ориентиром при подборе корректирующего светофильтра. Например, флуоресцентные лампы не имеют графика непрерывной плавной характеристики спектрального распределения, характерного для вольфрамовых ламп накаливания.

**Коррелированная цветовая температура (Correlated Color Temperature, CCT).** Этот термин относится в большей степени к газоразрядным излучателям, например, флуоресцентным, металлогалогенным (HMI), ртутным, и неоновым лампам. Значение параметра Коррелированной цветовой температуры аппроксимируется к её величине для ближайшего истинного источника накаливания.

Используя колориметр, вы можете выбрать необходимый вам для цветовой коррекции в соответствии с балансом используемой киноплёнки желатиновый фильтр, пользуясь специальным набором образцов цветокоррекционных желатиновых фильтров.

Например, при измерении соотношения зеленого и пурпурного цветов (с использованием режима CCT) колориметр может обнаружить большой объем зеленой составляющей цвета и выдать на дисплее значение 30M. Это означает, что прибор, производя вычисления, указывает на необходимость серьезной коррекции по пурпурному цвету. В этом случае вы можете взять для пробы из набора образцов полный минус-зеленый желатиновый

фильтр, поместить его перед датчиком колориметра и произвести новое измерение. Пурпурный желатиновый фильтр поглотит зеленый спектральный пик, характерный для некоторых типов газоразрядных источников, например, флуоресцентных и натриевых.

Для определения соотношения красной и синей составляющей света, пользуйтесь режимом “Цветовая температура”. Если регистрируемая цветовая температура источника равна 5500К, а вам необходимо скорректировать цветовую температуру под пленку, сбалансированную под лампы накаливания, попробуйте поставить на датчик колориметра желатиновый фильтр №85. В идеале прибор должен показать 3200К. Если показания колориметра несколько отличаются, попробуйте использовать комбинацию желатиновых фильтров различной плотности.

## Цветовая температура различных источников света

<b>Искусственный свет</b>	
Пламя спички	1,700К
Пламя свечи	1,850К
40-ваттная лампа накаливания с вольфрамовой нитью	2,650К
75-ваттная лампа накаливания с вольфрамовой нитью	2,820К
100-ваттная лампа накаливания с вольфрамовой нитью	2,900К
Вольфрамовая лампа накаливания 3200К	3,200К
Перекальная лампа (Photoflood) и лампа заливающего света с отражателем	3,400К
Синяя перекальная лампа дневного света	4,800К
Ксеноновая дуговая лампа	6,420К
<b>Дневной свет</b>	
Солнечный свет: восход или закат	2,000К
Солнечный свет: через час после восхода	3,500К
Солнечный свет: раннее утро	4,300К
Солнечный свет: поздний вечер	4,300К
Средний солнечный свет летом в полдень (Вашингтон)	5,400К
Прямой солнечный свет, середина лета	5,800К
Небо, покрытое облаками	6,000К
Средний солнечный свет летом (со светом от голубого неба)	6,500К
Легкие тени летом	7,100К
Средние тени летом	8,000К
Летний свет от неба находится в диапазоне	9,500 et 30,000 К

Примечание: нельзя путать солнечный свет с дневным. Солнечный свет - это свет от солнца. Дневной свет - это сочетание собственно солнечного света с рассеянным небесным освещением.

---

Кинопленка обладала необходимой глубиной для создания нужной мне магии цвета. Чтобы воспроизвести красочный мир воображения Анжелины (“В поисках Анжелины”), и правдиво рассказать историю ее жизни в эмиграции, часто изображавшуюся в черно-белых тонах и сепии, мне потребовалась вся возможная цветовая палитра“.

— *Серджио Наваретта оператор*

---