

Смещение цветов

Как правило, чистые цвета с одной длиной волны — монохроматические цвета — встречаются редко и только в лабораторных условиях. В большинстве случаев воздействующий на глаз свет представляет собой смесь лучей с разной длиной волны. Именно поэтому сейчас важно напомнить читателю о том, о чем уже было сказано в этой главе: цвета, которые мы видим, основаны на реакции зрительной системы на воздействие света с разной длиной волны. Сами по себе длины волн не изменяются при смешении разных лучей. Сейчас мы приступаем к изучению двух моделей смешения цветов — аддитивной и субтрактивной. Поскольку аддитивное смешение цветов имеет непосредственное отношение к пониманию восприятия цвета, мы расскажем о нем более подробно.

Аддитивное смешение цветов

Аддитивная модель предполагает, что при смешении в зрительной системе происходит «смещение» световых лучей с разной длиной волны. Это значит, что речь идет о наложении друг на друга результатов воздействия на зрительную систему световых лучей с разной длиной волны. Например, когда на зрительную систему одновременно воздействуют зеленые и красные лучи с длиной волны, равной 530 нм и 650 нм соответственно, результат этого воздействия определяется ими обоими — средневолновым зеленым светом и длинноволновым красным светом.

Разработаны и известны определенные правила, или принципы, смешения цветов с разной длиной волны. Некоторые из этих принципов станут понятны из описания двух подходов, один из которых основан на использовании цветового круга, а второй, более точный, — на парных цветах.

Цветовой круг, комплементарные цвета и метамеры.

Некоторые важные явления, связанные с аддитивной моделью смешения цветов, обобщены в цветовом круге, представленном на рис. 5.3.

Цветовой круг соответствует центральному кругу трехмерного цветового веретена, изображенного на рис 5.2, и представляет собой его центральное сечение. Спектральные лучи с разной длиной волны и соответствующие им цветоощущения располагаются по окружности центрального круга, а степени насыщенности представлены вдоль их радиусов. По мере увеличения расстояния от окружности до центра насыщенность цвета уменьшается.

Создатели цветового круга намеренно расположили цвета таким образом, чтобы подчеркнуть некоторые закономерности, имеющие принципиальное значение. Каждый цвет имеет свой комплементарный цвет, занимающий в цветовом круге диаметрально противоположную позицию. При смешении комплементарных цветов в определенных соотношениях образуется неокрашенная смесь — белая или серая. Пары комплементарных цветов могут быть названы «цветами-антагонистами», поскольку они аннулируют влияние друг друга на зрительную систему. Комплементарными цветами являются синий и желтый, красный и сине-зеленый, зеленый и пурпурный. (Обратите внимание на то, что пурпурный лежит вне цветового круга — в «экстраспектральной» области, соответствующей цветам или оттенкам, которые не имеют определенной длины волны, а образуются при смешении спектрально чистых цветов.)

Смещение цветов, не являющихся комплементарными друг другу, располагаются на цветовом круге между теми цветами, из которых они образованы. Так, если цвета смешивались в равных соотношениях, то образованный ими новый цвет располагается посередине между ними. Примером такой смеси является цвет, обозначенный на рис. 5.3 буквой А: цвет, образующийся при смешении равных количеств красного и зеленого, воспринимается как желтый. Иными словами, эта смесь вызывает то же самое ощущение, что и желтый цвет. Цвета, вызывающие одинаковые зрительные ощущения, но имеющие разную физическую природу, т. е. разную длину волны, называются метамерами (в приве-

денном выше примере метамерами являются желтый цвет и аддитивная смесь красного и зеленого цветов). Иными словами, метамеры — это пары световых лучей, которые, отличаясь друг от друга длинами волн, одинаково воздействуют на зрительную систему на нейронном уровне, вследствие чего и воспринимаются как один и тот же цвет. В приведенном выше примере смесь красного и зеленого света стимулирует рецепторы цвета точно так же, как их стимулирует спектрально чистый желтый свет, а потому такая смесь воспринимается как «желтая». Подобные спектральные пары называются метамерами, или метамерными парами, а цветовое соответствие между ними называется метамерическим соответствием.

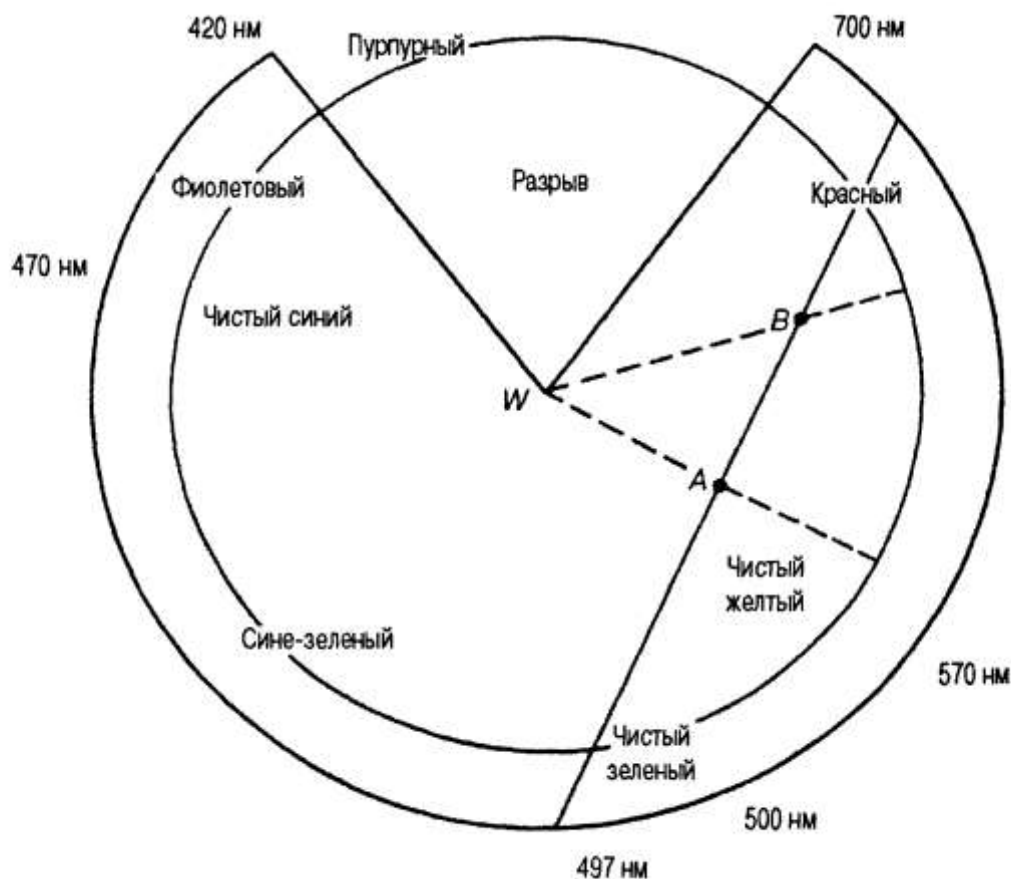


Рис. 5.3. Цветовой круг, соответствующий центральному кругу трехмерного цветового веретена

Особенностью спектральных смесей является то, что зрительная система не способна идентифицировать их отдельные компоненты, и такое явление, как метамеризм, это подтверждает. Применительно к нашему примеру это означает, что зеленый и красный свет, воздействуя на зрительную систему одновременно, вызывают ощущение желтого цвета; цветоощущения, связанные с воздействием красного и зеленого света таковых, отсутствуют. С помощью метамеров выявляется важная особенность нейронной стимуляции: чтобы вызвать одинаковые ощущения, раздражители не обязательно должны иметь одну и ту же физическую природу. Если раздражители вызывают одинаковую нейронную реакцию, они будут восприниматься как идентичные.

С помощью цветового круга можно также определить цветоощущения, которые вызывают смеси, содержащие неравные количества исходных цветов. Чтобы примерно указать место результирующего цвета такой смеси на цветовом круге, следует провести пря-

мую, связывающую два компонента, и найти на ней точку, соответствующую тому соотношению, в котором они были смешаны. Положение этой точки дает представление и о цвете смеси, и о его насыщенности. Точка В (рис. 5.3) показывает, что если в смеси содержится больше красного, чем зеленого, то в ее результирующем цвете более ярко выражен красный оттенок, чем зеленый. По насыщенности смесь уступает каждому из ее исходных компонентов. Известно общее правило, согласно которому насыщенность смеси тем меньше, чем дальше друг от друга располагаются исходные компоненты на цветовом круге. Графически это правило иллюстрируется точками А и В на рис. 5.3. Действительно, любая аддитивная смесь будет восприниматься менее насыщенной и будет лежать ближе к центру цветового круга (область невысокой насыщенности), чем компоненты, из которых она образована.

Цветовые сочетания.

Возможности цветового круга, являющегося источником полезных обобщений качественной информации о многих базовых свойствах смесей цветов, все же ограничены. При более строгом подходе к оценке смесей цветов используется система цветовых сочетаний, основанная на трехкомпонентной теории цветового зрения. В соответствии с этой теорией, практически любой цвет, за небольшим исключением, может быть получен при смешении в определенной пропорции окрашенного света трех определенных цветов. Эти цвета получили название основных цветов, ибо они доказали свою психологическую уникальность и их нелегко разложить на составляющие цветовые компоненты. Хотя обычно в качестве основных цветов выбираются синий, зеленый и красный, при соблюдении следующих условий возможны и различные другие комбинации основных цветов: при смешении двух из них не должен получаться третий, и ни один из этих цветов не должен быть дополнительным другому, т. е. не должен нейтрализовать влияния ни одного из двух других цветов на зрительную систему. Следовательно, за весьма немногими исключениями, смешением основных цветов в разных соотношениях может быть получено большинство спектральных цветов, в том числе и белый (исключение составляют так называемые металлические цвета — серебряный, золотой и медный). Обратите внимание также и на то, что для достижения очень точного соответствия насыщенным спектральным цветам в некоторых случаях к смеси трех основных цветов необходимо добавить некоторое количество хроматического света (более подробно этот вопрос освещен в работе Wasserman, 1978, Chapter 2). На цветной вклейке 3 представлены некоторые из тех оттенков, которые могут быть получены смешением трех основных цветов. Смесь, образованная равными количествами основных цветов, воспринимается зрительной системой как белая. (См. рис. 5.3, область перекрывания всех цветов.)

Используя описанный ниже способ, можно создать смесевой аналог большинства спектральных цветов. Тестовая поверхность освещена спектральным светом с определенной длиной волны, и задача экспериментатора заключается в том, чтобы подобрать такое соотношение трех основных цветов, при котором поверхность сравнения будет освещена светом, вызывающим точно такое же цветоощущение, как и свет, освещающий тестовую поверхность (рис. 5.4).

Этот способ подбора идентичных цветов представляет собой одну из форм метамерного соответствия. Подобное соответствие — исключительно субъективное психологическое явление. Несмотря на то что две поверхности оказывают на зрительную систему одинаковое воздействие и поэтому кажутся окрашенными одинаково, они могут весьма существенно отличаться друг от друга по спектральному составу освещающего их света. Мы убедились в том, что после смещения основных спектральных цветов на поверхности сравнения зрительная система не способна воспринимать их по отдельности. Одного взгляда на смесь цветов недостаточно для того, чтобы определить, из каких спектральных компонентов она образована.

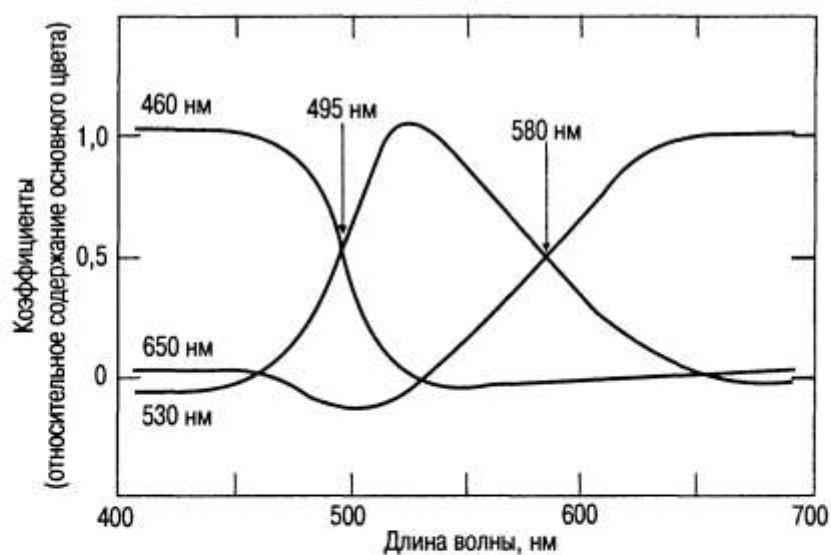


Рис. 5.5. Кривые смешения цветов, показывающие, какой количественный состав смесей трех основных цветов соответствует цвету того или иного монохроматического света

Чтобы получить цветовые тона, соответствующие цветовым тонам коротковолнового света и света, лежащего в длинноволновой части спектра, необходима их предварительная модификация. Отрицательные величины означают, что для получения цвета, соответствующего свету данного светового луча, к нему сначала нужно добавить один из основных цветов. Это необходимо для уменьшения его насыщенности до такого уровня, при котором два других основных цвета могут образовать идентично окрашенную смесь. В данном примере, чтобы получить смесь, аналогичную сине-зеленому свету с длиной волны 495 нм, к последнему пришлось сперва добавить немного красного с длиной волны 650 нм, и лишь после этого синий и зеленый цвета составили соответствующую ему смесь. (Источник: Wright, 1928)

Если воспользоваться описанным выше способом для получения всех монохроматических компонентов спектра, можно построить ряд кривых, аналогичных тем, которые представлены на рис. 5.5, и называемых кривыми смешения цветов. Хотя для трихроматического раздражения (т. е. для получения света, состоящего из лучей с тремя разными длинами волн) можно использовать разные монохроматические лучи, на рис. 5.5 представлены смеси, содержащие синий (длина волны 460 нм, В), зеленый (длина волны 530 нм, G) и красный (длина волны 650 нм, R).

Исходя из того, что психологическое воздействие любого цвета (С) эквивалентно психологическому воздействию трехкомпонентной смеси основных цветов, взятых в определенном соотношении, можно вывести основное уравнение, описывающее суть этого явления:

$$C = xR + yG + zB,$$

где x , y и z — яркостные коэффициенты трех цветов с фиксированными длинами волн (отложенными на ординате рис. 5.5), содержание которых в смеси зависит от того, соответствие какому монохроматическому свету должно быть достигнуто. Например, при правильно выбранных условиях смешения смесь равных количеств красного (650 нм) и зеленого (530 нм), не содержащая синего (460 нм), идеально соответствует желтому (примерно 580 нм). Как уже отмечалось выше, если цвета оказывают одинаковое воздействие на зрительную систему, невозможно сказать, где монохроматический свет, а где — смесь. Цветоощущение, вызываемое желтым цветом с длиной волны 580 нм, аналогично цветоощущению, вызываемому смесью зеленого (длина волны 530 нм) и красного (длина волны 650 нм) цветов.

Помимо цветового круга и метода, основанного на подборе смесей, соответствующих по цвету монохроматическому свету, известны и другие способы доказательства аддитивной природы смесей света разных цветовых тонов. К ним относится и проецирование лучей трех проекторов, снабженных разноцветными фильтрами. Именно таким способом и были получены смеси цветов, представленные на цветной вклейке 3. Цвета, в которые окрашены области взаимного перекрывания лучей, иллюстрируют эффект аддитивного смешения цветов. Так, если смешиваются только красный и зеленый лучи, область их вза-

имного перекрывания окрашивается в желтый цвет; центр окрашен в белый цвет — это область взаимного перекрывания всех трех лучей (зрительная система воспринимает отраженный свет, посылаемый одновременно всеми тремя лучами).

Еще одним простым способом иллюстрации аддитивного смешения цветов является использование вертушки для смешения цветов, составленной из секторов нескольких вдетых друг в друга цветных кружков (рис. 5.6).

Цветные кружки закрепляются таким образом, что наблюдатель, глядя на диск, видит его в цвете, являющемся результатом смешения цветов отдельных секторов, причем результирующий цвет зависит от размеров секторов. При быстром вращении вертушки компоненты цветов стимулируют зрительную систему, однако индивидуальное восприятие каждого из них невозможно. Наблюдатель видит лишь совершенно однородный цвет аддитивной смеси, зависящий от того, в каком соотношении взяты исходные компоненты.

Художники тоже используют аддитивный метод смешения цветов прямо на холсте. Пуантилизм, или дивизионизм, — живописная техника, использованная некоторыми французскими импрессионистами (прежде всего Ж. Сера и П. Синьяком), — не предполагает предварительного смешения красок. Художник наносит на холст разноцветные точки, располагая их рядом. Когда смотришь на такую картину с определенного расстояния, отдельные точки как таковые не видны, а цвета воспринимаются как аддитивные смеси. Пример такой смеси цветов представлен на цветной вклейке.

Возможно, самым известным примером аддитивного смешения цветов является цветное телевидение. Экран обычного цветного телевизора — мозаика близко расположенных друг к другу точек всего лишь трех цветов — как правило, красного, зеленого и синего, индивидуальная интенсивность которых может варьировать (см. цветную вклейку 5).

Цветное изображение возникает на экране благодаря тому, что у каждой точки своя цветовая интенсивность. Поскольку эти точки очень малы, их невозможно рассмотреть с того расстояния, с которого принято смотреть телевизор. Именно поэтому мозаика разноцветных точек, образующих аддитивную смесь, воспринимается как единое целое, а их совместное воздействие вызывает определенное цветоощущение.

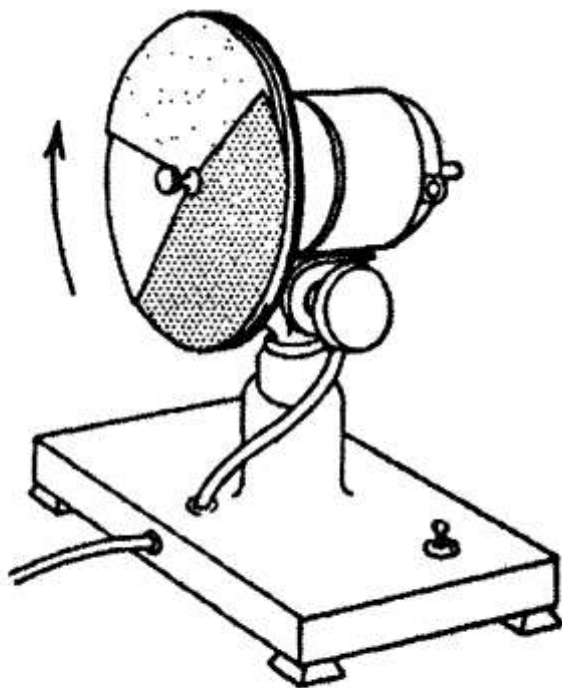


Рис. 5.6. Вертушка для смешения цветов

*Экспериментальное подтверждение
Аддитивная смесь цветов*

Хоть в обычной жизни мы не замечаем этого, но желтый цвет на экране цветного телевизора образован маленькими красными и зелеными точками. Чтобы убедиться в этом, рассмотрите желтое пятно на телевизионном экране через лупу. Дискретные точки, которые вы при этом увидите, явно не желтого цвета. Прюделав то же самое с белым участком экрана, вы увидите одинаково освещенные синие, красные и зеленые точки, которые и дают вместе ощущение белого цвета. Эти примеры подтверждают то, что было сказано выше об аддитивной смеси цветов.