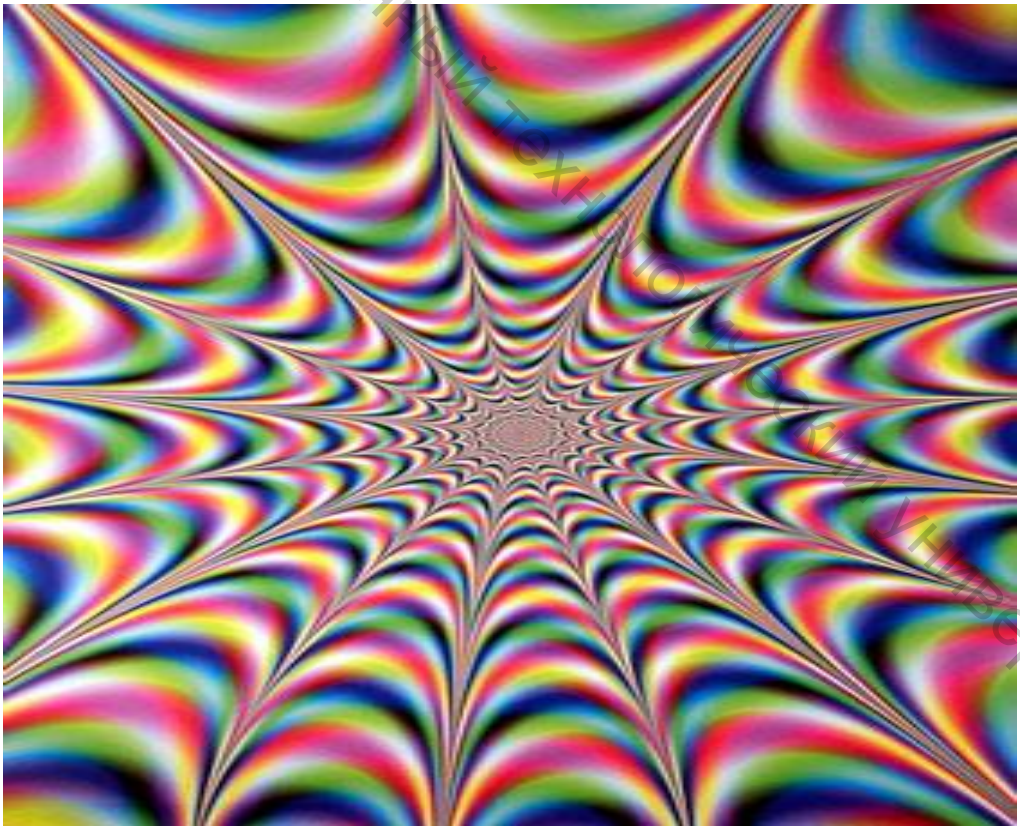
Витебский государственный технологический университет

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦВЕТА



Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

В. В. Рубаник, Н. М. Лаппо

Витебский государственный технологический университет

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦВЕТА

Пособие
для студентов специальности 1-50 01 01
“Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов”
специализации 1-50 01 01 07 “Художественное проектирование текстильных полотен”

Витебск
2009

УДК 67/68:535.6
ББК 37 + 22.343
Р 82

Витебский государственный технологический университет

Рецензенты: к.т.н., доц., заведующая кафедрой дизайна Г.В.Казарновская

Рекомендовано в качестве пособия редакционно-издательским советом Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», протокол № 1 от 27 сентября 2007 г.

Рубаник, В.В.
Р 82 Основы теории цвета : пособие / В. В. Рубаник, Н. М. Лаппо. – Витебск : УО «ВГТУ», 2009. – 105 с.
ISBN 978 – 985 – 481 – 175 - 8

Изложены теоретические вопросы курса «Цветоведение»: восприятие, измерение, расчет и воспроизведение цвета, физиологическое и психологическое действие света, строение и свойства глаза, зрительные иллюзии, характеристики цвета, способы оценки различных цветов и их свойства. Цветоведение помогает специалисту, работающему в этой области, изучить цветовые явления и использовать их в своих целях.

Пособие предназначено для студентов художественно-технологического факультета специальности 1 – 50 01 01, а также для работников текстильной и легкой промышленности, чья деятельность связана с использованием цвета и цветоведения.

УДК 67/68:535.6
ББК 37 + 22.343

ISBN 978 – 985 – 481 – 175 - 8

© Рубаник В.В., 2009
© Лаппо Н.М., 2009
© УО «ВГТУ», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Теория цвета (Цветоведение) – наука, занимающаяся восприятием, измерением, расчетом и воспроизведением цвета. По цвету можно судить, в частности, о качестве материалов и изделий легкой промышленности.

Освоив курс “Цветоведение”, будущий специалист текстильной промышленности приобретет основы знаний по теории цвета, по его использованию и восприятию, сможет решать многие задачи, способствующие совершенствованию технологии и улучшению качества изделий текстильной промышленности.

Цветоведение помогает специалисту, работающему в этой области, изучить цветовые явления и использовать их в своих целях.

При изучении цветоведения студенты должны усвоить физиологическое и психологическое действие света, строение и свойства глаза, характеристики цвета, способы оценки различных цветов и их свойства.

Цвет относится к числу важнейших показателей, характеризующих свойства предметов окружающего нас материального мира. И вряд ли можно назвать такой вид практической деятельности человека, где не нужно было бы производить цветовые оценки. До недавнего времени, однако, цвет оценивался только визуально, а характеристика цвета давалась с помощью словесных описаний. В начале XXв. в связи с бурным ростом промышленного производства и научных исследований возникла необходимость перехода от субъективных оценок к точным объективным методам выражения цвета. В результате быстрого развития исследований, связанных с измерением цвета, к концу 20-х годов XX в. была разработана система, позволяющая осуществить объективную оценку цвета. Эта колориметрическая система была принята в 1932 г. Международной комиссией по освещению (МКО).

С древних времен ученые пытались объяснить природу цвета, однако вплоть до 60-х годов XVII в. существовали самые неправдоподобные теории этого явления. В середине XVII в. многие ученые связывали цвет со свойствами самого света, а не с работой глаза.

Основы современных научных представлений о цвете заложены И.Ньютоном в опубликованной им в 1672г. работе “Новая теория света и цветов”. Ньютон установил, что солнечный свет имеет сложный состав и состоит из излучений с различными показателями преломления. Он показал, что однородное излучение не может изменить своего первоначального цвета, каким бы преобразованиям оно не подвергалось. Ньютон впервые провел деление науки о цвете на две части: объективную (физическую) и субъективную (связанную с чувственным восприятием). Он пишет: “ ... лучи, если выражаться точно, не окрашены. В них нет ничего другого, кроме определенной силы или предрасположения к возбуждению того или иного цвета ”.

Ньютон дал правильное объяснение цветам естественных тел, поверхностей предметов. Он отмечает, что “цвета происходят от того, что

Витебским государственным технологическим университетом

некоторые естественные тела отражают одни сорта лучей обильнее, чем остальные”.

Действие световой энергии на фотографический материал вызывает химический процесс. Сурик максимально отражает наименее преломляемые лучи, создающие красный цвет, и поэтому кажется красным.

Ньютону принадлежат первые опыты по оптическому смешению цветов.

Он впервые ввел цветовой график, получивший название цветового круга Ньютона, и использовал его для систематизации цветов, а также для определения по смешиваемым цветам цвета их смеси.

Наиболее близко к установлению трехцветной природы зрения подошел великий русский ученый М.В. Ломоносов, опубликовавший в 1765г. сочинение “Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющую”.

Точное объяснение многообразия воспринимаемых цветов дано Т.Юнгом в 1802г. Он считал, что в глазу находятся три вида светочувствительных окончаний нервных волокон. Раздражение каждого отдельного вида волокон вызывает ощущение красного, зеленого и фиолетового цвета. При раздражении всех видов нервных волокон возникает ощущение всевозможных других цветов.

Большой вклад в развитие науки о цвете внесли Г. Гельмгольц и Д.Максвелл. Гельмгольц провел опыты по оптическому смешению спектральных цветов и установил точные зависимости между отдельными спектральными цветами и их смесями. Он установил пары дополнительных цветов, указав их длины волн, и объяснил различия в закономерностях при образовании цветов путем смешения излучений и смешения красящих веществ. Максвелл, изучая закономерности оптического смешения цветов, выразил спектральные цвета через количества трех основных цветов, в качестве которых он использовал следующие однородные излучения: красный (длина волны 630 нм), зеленый (длина волны 528нм), синий (длина волны 457нм). Разработанные им принципы выражения цветов составляют основу современной колориметрии. Максвелл впервые указал на возможность применения принципов трехцветной теории зрения в практике воспроизведения цветных изображений. В 1861г. он продемонстрировал цветную фотографию, полученную трехцветным способом по методу аддитивного смешения.

В конце XIX в. Дю-Ороном были разработаны принципы цветной репродукции по субъективному методу, включая схему современного способа цветной фотографии на трехслойных пленках и цветной печати. В 1930г. Ж.Гилдом и В.Райтом выполнены точные исследования по определению функций сложных цветов. Полученные ими данные приняты в 1931г. конгрессом МКО в качестве основы для международной системы измерения цвета.

После принятия Международной колориметрической системы внимание ученых многих стран мира направлено на создание колориметрических приборов, позволяющих проводить измерение цвета в соответствии с этой системой, на разработку различных расчетных методов, направленных на

Витебский государственный технологический университет

решение задач по воспроизведению цвета и на решение вопросов использования метрики цвета при контроле качества продукции.

Большая часть исследований за последние 25 лет была посвящена цветоразличительным свойствам глаза и построению равноконтрастной системы. Значительные работы в этой области выполнены Д.Мак-Адамом, Г.Вышецким.

Становлению и развитию науки о цвете во многом способствовали работы Н.Т.Федорова, Н.Д.Нюберга, С.В.Кравкова, М.М.Гуревича. В совершенствование колориметрических методов измерений и внедрение их в промышленность большой вклад внесли ученые Л.И.Беленький, Д.А. Шкловер, Е.Н.Юстова.

Методы объективного измерения цвета на основе Международной колориметрической системы с каждым годом находят все более широкое применение в промышленности. Во многих отраслях народного хозяйства (полиграфическая, текстильная и легкая, лакокрасочная и анилинокрасочная, стекольная и керамическая промышленности) цвет является важнейшим показателем качества продукции. По цвету судят о качестве материалов и изделий, предназначенных для цветной фотографии, кинематографии, телевидения.

Оценка цвета применяется для обеспечения норм и допусков в цветной сигнализации, ею пользуются в строительстве и архитектуре, в оформительском искусстве и технической эстетике.

Использование методов объективного измерения цвета в текстильной промышленности позволяет решать следующие задачи:

1) осуществлять контроль за ходом технологических процессов и создавать автоматизированные системы управления технологическими процессами;

2) качественно и количественно характеризовать красители и вспомогательные вещества;

3) оценивать окрашенную продукцию и определять ее соответствие установленным допускам;

4) вычислять рецептуру крашения и печатания волокнистых материалов с целью получения желаемого цвета;

5) количественно оценивать белизну текстильных материалов;

6) объективно и количественно определять прочность окрасок к различным химическим и физико-химическим воздействиям.

Решение этих задач с использованием методов современной колориметрии способствует совершенствованию технологии производства, улучшению качества, расширению ассортимента изделий текстильной промышленности.

Витебский государственный технологический университет

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЦВЕТЕ

Тема 1. ФИЗИКА ЦВЕТА

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О СВЕТЕ И ЦВЕТЕ

Современная наука определяет ***ЦВЕТ*** как зрительное ощущение, вызванное воздействием на глаз электромагнитных излучений определенного диапазона, спектра, электромагнитных волн (λ= 380 –780 нм).

В явлении цвета взаимосвязаны три процесса: физический (излучение энергии), физиологический (воздействие излучений на глаз), психологический (восприятие цвета).

Физика цвета изучает распространение, отражение, пропускание, поглощение и спектральное разложение излучений. Их характеристики объективно измеряются приборами.

Воздействие излучений на глаз и его работа, возникновение цветового ощущения составляют содержание физиологии цвета.

Цветовые ощущения и условия цветовосприятия – это предмет психологии цвета.

СВЕТ представляет собой поток фотонов, которым присущи как волновые, так и корпускулярные свойства. Фотоны всегда движутся со скоростью света (с = 300 000 км/с).

Свет (световая энергия), попадая в наш глаз, вызывает ощущение цвета.

Действие световой энергии на фотографический материал вызывает химический процесс, обуславливающий образование фотографического изображения.

Действие света на фотоэлемент вызывает появление электрического тока. При действии света на любые приемники имеет место поглощение световой энергии этими приемниками (глазом, фотографическим материалом, фотоэлементом) и превращение ее в энергию другого вида.

Свет представляет собой электромагнитные колебания, к которым относятся также радиоволны, инфракрасные, рентгеновские лучи и другие разновидности электромагнитного излучения. Электромагнитные излучения распространяются в виде волн и характеризуются длиной волны и амплитудой (рис. 1). Длина волны определяется расстоянием λ между максимумами – гребнями волн.

Высота волны над средним уровнем определяет амплитуду колебания А. Длина волны обычно обозначается буквой λ и в видимой части спектра выражается в нанометрах (нм), 1нм = 10^{-9}м.

При наличии излучений с одинаковыми длинами волн, но с различными амплитудами колебаний, свет качественно одинаков, однако интенсивность его будет различна. Излучения с различными длинами волн даже при одинаковых амплитудах колебаний дают качественно различный свет, то есть, амплитуда колебаний определяет ее количественную характеристику, в данном случае – интенсивность света.

Витебский государственный технологический университет

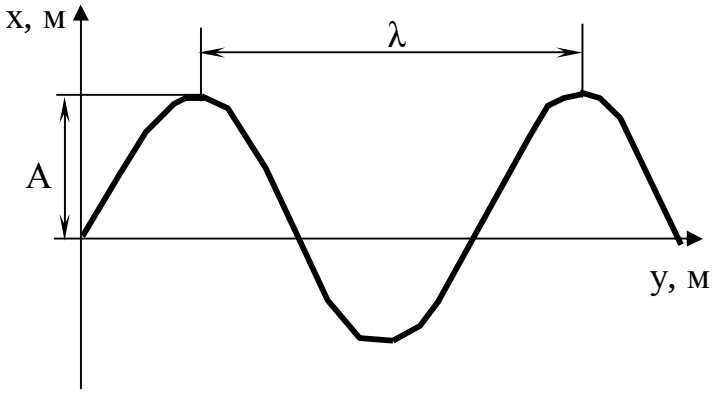


Рис. 1 Схема волнообразного движения

Окружающие нас тела и предметы материального мира делятся на ***светящиеся*** и ***несветящиеся***.

Природные и искусственно созданные светящиеся тела испускают электромагнитные излучения с различными длинами волн, но только излучения с длиной волны от 380 до 780 нм вызывают у нас ощущение света и цвета. Излучения указанного диапазона длин волн называют видимым участком спектра. При действии на глаз излучений с длиной волны меньше 380 и больше 780 нм световых и цветовых ощущений не возникает.

Излучения делятся на ***монохроматические*** и ***сложны*****е**.

Монохроматические – это излучения какой-либо одной длины волны. Сложные излучения состоят из нескольких монохроматических волн или содержат все излучения видимого участка спектра.

Если тело испускает световой поток, содержащий все излучения от 380 до 780 нм, и притом мощность этих излучений одинакова, цвет этого тела воспринимается как белый.

Монохроматические излучения вызывают ощущения различных цветов от красного до фиолетового. Если все многообразие видимых нами спектральных цветов разделить на восемь групп, то можно представить следующую зависимость между длиной волны излучений и вызываемыми ими ощущениями цвета (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость между длиной волны излучений и вызываемыми ими ощущениями цвета

Цвет	Длина волны монохроматических излучений, нм	Ширина участка спектра, нм
Красный	780-620	160
Оранжевый	620-585	35
Желтый	585-575	10
Желто-зеленый	575-550	25
Зеленый	550-510	40
Голубой	510-480	30
Синий	480-450	30
Фиолетовый	450-380	70

Витебский государственный технологический университет

Конечно, разделение спектра на восемь цветовых зон является чисто условным. Цвет монохроматических излучений в переделах каждой зоны не является неизменным. Глаз различает в спектре громадное количество промежуточных оттенков, поскольку последовательность цветов спектра непрерывна и каждый цвет переходит в соседний плавно, постепенно.

Состав излучения светящихся тел характеризуется спектрами излучения, показывающими, какие монохроматические лучи испускаются телом и какова их мощность.

Подавляющее большинство окружающих нас предметов являются несветящимися. Собственного света они не излучают, и мы их видим лишь в том случае, когда они освещены каким-либо источником света. Цвет несветящихся непрозрачных предметов обусловлен спектральным составом отраженного от них светового потока, а прозрачных предметов – составом прошедшего через них излучения.

Состав светового потока, отраженного или пропущенного телом, зависит от спектрального состава падающего на него света и отражательной или пропускательной способности тела. Способность тел отражать или пропускать те или иные лучи характеризуется с помощью спектров отражения или пропускания.

Все цвета делятся на две группы – ***ахроматические*** и ***хроматические***.

К ахроматическим относятся белые, черные и серые цвета.

Все остальные цвета являются хроматическими.

Тела, имеющие ахроматический цвет, обладают неизбирательным отражением или пропусканием падающих на них лучей, т.е. они в равной степени отражают или пропускают излучения всех длин волн видимой части спектра. Спектры отражения или пропускания таких тел представляют собой прямые, параллельные оси абсцисс (рис. 2).

Точного разграничения между белыми и серыми, а также серыми и черными цветами не существует. Ориентировочно белые тела имеют коэффициент отражения выше 60%, черные – меньше 10%.

Избирательное отражение влечет за собою появление той или иной окраски, свойственной данному веществу или телу. Если, например, какое-нибудь вещество отражает только красные лучи, а все остальные поглощает, то при освещении белым светом оно будет казаться красным. Однако на практике не существует веществ, которые бы отражали только один определенный участок спектра и полностью поглощали бы все остальные. Реальные тела всегда в какой-то мере отражают все лучи спектра.

Витебский государственный технологический университет

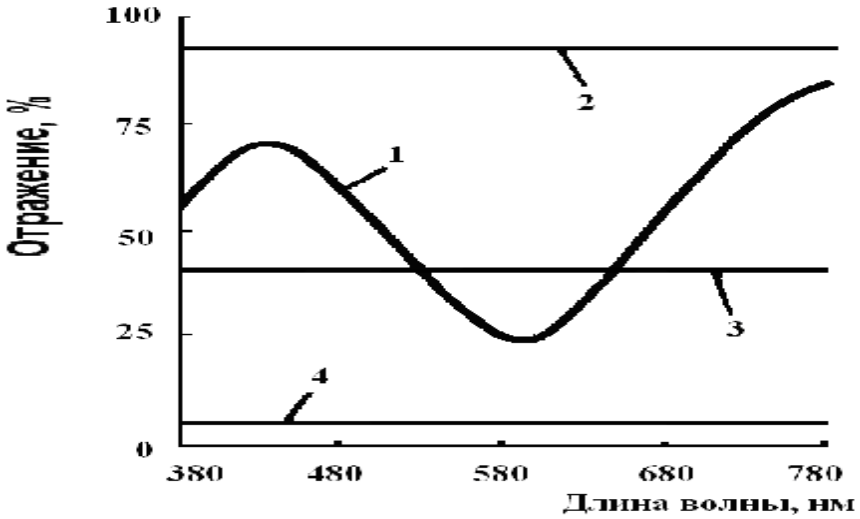


Рис. 2 Спектры отражения поверхностей, имеющих цвет:
1 – хроматический; 2-4 – ахроматический (2 – белый, 3 – серый, 4 – черный)

Спектры излучения делятся на ***линейчатые*** и ***непрерывные***.

К линейчатым относятся спектры, в которых имеется одна или несколько спектральных линий. В непрерывных (или сплошных) спектрах представлены излучения всех длин волн видимой части спектра. Непрерывная линия таких спектров есть не что иное, как геометрическое место верхних точек спектральных линий.

Цвет сложных излучений является суммой ощущений, возникающих в результате действия на глаз составляющих его монохроматических лучей. Для ориентировочной оценки цвета излучений с непрерывным спектром используется следующая методика.

Спектр излучения делится на три зоны: первую, включающую излучения от 380 до 480 нм; вторую, содержащую излучения от 480 до 560 нм; третью, с излучениями от 560 до 780 нм.

В пределах каждой зоны определяется среднее значение мощности излучения, по соотношению этих мощностей и судят о цвете. Сумма монохроматических лучей первой зоны дает ощущение синего цвета, второй – зеленого, третьей – красного цвета. В соответствии с такой разбивкой цвет любого сложного излучения можно рассматривать как результат воздействия на глаз синего, зеленого и красного излучений. Для излучения, имеющего белый цвет, характерна одинаковая мощность излучения во всех трех зонах спектра, а для хроматических по цвету излучений мощность в этих зонах различная. В световых потоках красного, зеленого и синего цвета преобладают излучения одной из соответствующих зон. Для световых потоков других цветов характерна более высокая мощность излучения в двух зонах: в красной и зеленой (с более мощным излучением в красной зоне) – для излучений оранжевого цвета; в красной и зеленой (мощность излучения в этих зонах примерно одинакова) – для излучений желтого цвета; в зеленой и синей – для излучения голубого цвета.

Витебский государственный технологический университет

Фиолетовый цвет имеет лучистые потоки с более сильным излучением в синей и красной зонах, причем мощность монохроматических лучей в синей зоне выше, чем в красной. Если мощность излучений в этих зонах примерно одинакова, цвет лучистого потока пурпурный.

В результате изучения зависимости между спектральным составом излучений и цветом установлены два следующих положения.

1) Если излучения отличаются по цвету, это всегда означает, что они различны по спектральному составу. Не может быть различных цветов, которым соответствовали бы одинаковые излучения. Если излучения одинаковы по спектральному составу, они всегда одинаковы и по цвету.

2) Одинаковые по цвету излучения не обязательно должны иметь один и тот же спектральный состав.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРЕ СЛОЖНОГО ЦВЕТА

Сложный свет представляет собой смесь лучей с различной частотой колебаний, т.е. смесь монохроматических излучений. Для характеристики сложного света необходимо установить относительные количества составляющих его монохроматических излучений. Измерения такого рода проводятся на специальных приборах – спектрофотометрах, при помощи которых исследуемый свет разлагается на его составляющие и устанавливается относительная интенсивность отдельных монохроматических излучений. Результаты таких измерений показывают распределение световой энергии в спектре исследуемого света. Нанеся эти данные на график, в котором на оси абсцисс отложены длины волн, а на оси ординат интенсивности света, получим спектральную характеристику распределения энергии исследуемого света. Чем выше поднимается данный участок кривой над осью абсцисс, тем больше количество энергии **E** для данной длины волны во всей смеси. На рис.3 приведены кривые спектрального распределения энергии рассеянного дневного света (а) и света электрической лампы накаливания (б).

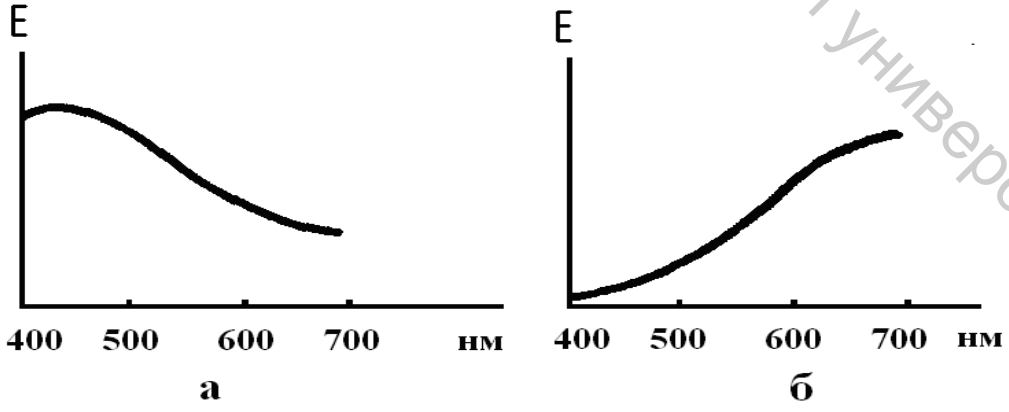


Рис. 3. Кривые спектрального распределения энергии:
а – рассеянный дневной свет, б – свет электрической лампы

Витебский государственный технологический университет

В дневном свете максимум световой энергии приходится на синюю часть спектра, а в излучении электрической лампы накаливания – на красную часть спектра. Необходимо отметить, что большинство источников света представляет собой тепловые излучатели, а поэтому распределение энергии их лучей, естественно, зависит от температуры светящегося тела.

Получение одинакового спектрального состава излучения для источников света, изготовленных из различных материалов, требует нагревания их до различной температуры. Для удобства сравнения различных тепловых излучателей по спектральному составу излучения пользуются не истинной температурой тел, а условной единой мерой, называемой ***цветовой температурой излучения***. Цветовая температура однозначно характеризует ход кривой спектрального распределения энергии в видимой части спектра и цвет этого излучения. Физически цветовая температура излучения источника света определяется как температура, до которой необходимо нагреть абсолютно черное тело для получения от него излучения с таким же распределением энергии по длинам волн в видимой части спектра.

Черное тело поглощает весь падающий на него свет и излучает больше энергии, чем любое другое тело, нагретое до той же температуры. Поэтому абсолютно черное тело может служить образцом при оценке излучательных свойств источников света.

Цветовая температура выражается в градусах абсолютной шкалы, отсчитывается от абсолютного нуля и обозначается градусами Кельвина. Спектральный состав света можно изменить, пропуская данное излучение через соответствующий светофильтр. Светофильтр представляет собой прозрачную пластинку из окрашенного стекла, пластмассы или другого материала, поглощающего свет определенной длины волны и тем самым изменяющего спектральный состав данного источника света. Если, например, желтоватый свет лампы накаливания пропустить через голубой светофильтр, который почти не поглощает его в синей части спектра и сильно поглощает в желтой и красной части спектра, то спектральный состав света приблизится к белому дневному свету.

Любой светофильтр способен только устранить или ослабить энергию излучения при тех длинах волн, где имеется ее избыток. Добавить или дополнить отсутствие излучения в какой-нибудь зоне спектра при помощи светофильтров невозможно.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦВЕТА

Все многообразие цветов и оттенков можно разделить на две большие группы: ***ахроматические*** и ***хроматические***.

К ахроматическим относятся белый, различные (по светлоте) серые и черный цвета. Нейтрально серый является “затененным” белым или белым при ослаблении его яркости, без всякого изменения его спектрального состава.

Витебский государственный технологический университет

Ахроматические цвета даже с небольшим цветовым оттенком (например, желтоватые, зеленоватые или синевато-серые) относятся уже к хроматическим цветам. Ввиду того, что у ряда цветов едва заметен цветовой оттенок, между ахроматическими и хроматическими цветами нет резкой границы.

Все ахроматические цвета определяются одной характеристикой – светлотой, или, как ее называют, ***относительной яркостью***.

Светлота – это отношение потока света, отраженного или пропущенного образцом, к падающему потоку; она выражается в относительных единицах. Отсюда вытекает, что чем ближе характеристика цвета к единице, тем он будет светлее; наиболее темные места имеют светлоту, близкую к нулю.

Светлотой характеризуют также все хроматические цвета. Например, желтый цвет обычно светлее красного, синий темнее оранжевого и т. д. Однако различие хроматических цветов этим не может быть исчерпано.

Хроматические цвета наряду со светлотой определяются еще двумя характеристиками: ***цветовым тоном*** и ***насыщенностью***. Под цветовым тоном понимают то, что отличает в цветовом ощущении данный цвет от серого цвета той же светлоты. Фактически ***цветовой тон*** – это цветовое впечатление, которое относится по сходству к тому или иному участку спектра или к цветам пурпурным, отсутствующим в спектре. Различия, обозначаемые словами красный, зеленый, синий и т. п., являются различиями по цветовому тону и выражаются длиной волны λ. Для пурпурных цветов, представляющих смесь красного и фиолетового концов спектра, цветовой тон определяется дополнительными к ним цветами. Для пурпурных цветов дополнительными являются зеленые.

Насыщенность – это степень отличия хроматического цвета от равного ему по светлоте ахроматического. Два цвета могут иметь один и тот же цветовой тон и одинаковые светлоты, но отличаться по своей насыщенности. Например, разбеленный пурпурный цвет по существу является светло-розовым. Светло-розовый отличается от пурпурного цвета тем, что он менее насыщен и более светел. Прибавлением черного к светло - розовому можно его довести по светлоте к пурпурному. Однако темно-розовый и пурпурный цвета будут одинаковы по цветовому тону и светлоте, но различны по насыщенности. С учетом такого различия, можно сказать, что цвет апельсина более насыщенный, чем цвет песка, или цвет кумачовой ткани насыщеннее цвета кирпича и т. д. Спектральные цвета имеют максимальную насыщенность. Не все цвета спектра одинаковы с точки зрения их восприятия по насыщенности. Желтые цвета воспринимаются менее насыщенными по сравнению с синими.

Обычно принято определять не насыщенность, воспринимаемую непосредственно глазом, а так называемую чистоту или колориметрическую насыщенность.

Любой хроматический цвет может быть получен при смешении соответствующего спектрального цвета с белым при определенных их интенсивностях. Очевидно, что насыщенный цвет содержит большую долю

Витебским государственным технологическим университетом

чистого монохроматического излучения по сравнению с белым, а мало насыщенный цвет содержит много белого.

Чистота, или колориметрическая насыщенность, определяется отношением яркости монохроматической составляющей к общей яркости цвета, равной сумме яркостей монохроматической и белой составляющих. Чистота, так же как и светлота, выражается в относительных единицах или в процентах. Чистота спектральных цветов равна единице, а для ахроматических цветов она равна нулю.

Таким образом, цветовой тон, чистота, или колориметрическая насыщенность, светлота, или относительная яркость, являются основными характеристиками любого хроматического цвета.

Тема 2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О ЦВЕТЕ

ГЛАЗ КАК ОРГАН ВОСПРИЯТИЯ ЦВЕТА

Основной частью глаза является глазное яблоко. Оно состоит из стекловидного тела, хрусталика и нескольких оболочек (рис.4).

Наружная оболочка, называемая ***белковой***, или ***склерой***, сохраняет форму глаза и предохраняет его от внешних повреждений. Она имеет белый цвет и почти непрозрачна. В передней части глаза белковая оболочка переходит в прозрачную, более выпуклую роговую оболочку.

За склерой расположена сосудистая оболочка, состоящая из сети кровеносных сосудов, обеспечивающих питание глаза. Впереди сосудистая оболочка утолщается и переходит в ресничное тело и радужную оболочку.

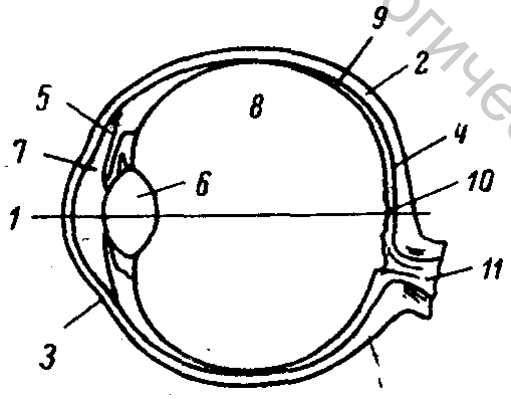


Рис. 4. Схема глаза:
1 – оптическая ось; 2 – склера; 3 – роговица; 4 – сосудистая оболочка;
5 – радужка; 6 – хрусталик; 7 – передняя камера; 8 – задняя камера;
9 – сетчатка; 10 – желтое пятно; 11 – зрительный нерв

В радужной оболочке находятся пигментные клетки, придающие ей определенный цвет. В центре радужной оболочки имеется отверстие – зрачок. Радужная оболочка выполняет роль диафрагмы, регулирующей подачу света в

Витебский государственный технологический университет

глаз. В зависимости от интенсивности освещения размер зрачка из-за растяжения или сжатия радужной оболочки изменяется: при сильном освещении зрачок сужается, при слабом — расширяется. За радужной оболочкой расположен хрусталик, представляющий собой прозрачное тело, заключенное в прозрачную оболочку. Посредством особых связок он прикреплен к ресничному телу. Хрусталик – своеобразная двояковыпуклая линза, выполняющая роль объектива. С его помощью на светочувствительной поверхности глаза получается четкое изображение рассматриваемого предмета. В ресничном теле находятся мышцы, ослабление и натяжение которых вызывает изменение выпуклости хрусталика: при рассматривании удаленных предметов хрусталик становится более плоским, а при рассматривании близких предметов приобретает большую выпуклость. Свойство глаза приспосабливаться к резкому видению различно удаленных предметов называется ***аккомодацией***.

Все пространство внутри глаза заполнено студенистым прозрачным веществом — стекловидным телом. Вокруг него расположена сетчатая оболочка, в которой находятся окончания зрительного нерва, соединяющего глаз с центральной нервной системой. Эти окончания, являющиеся светочувствительными элементами, реагирующими на попадающие в глаз световые лучи, имеют различную форму: одни из них более удлиненные и тонкие, другие более короткие и толстые. Первый вид нервных окончаний носит название палочек, второй — колбочек. Длина палочек примерно 1,06мм, а диаметр 0,002мм. Длина колбочек 0,035мм, а диаметр 0,006 - 0,007мм. Колбочек в сетчатке глаза 6 - 7млн., палочек 100 - 130млн. Распределены светочувствительные элементы по сетчатке глаза неравномерно. Колбочки преимущественно расположены в центральной части сетчатки, а к периферии их число резко уменьшается. Плотность расположения палочек, напротив, увеличивается от центра сетчатки к периферии. Несколько выше центра сетчатой оболочки находится участок (желтое пятно), заполненный преимущественно колбочками. В середине желтого пятна имеется небольшое углубление, называемое центральной ямкой, где сосредоточены только колбочки, причем наиболее мелкие. Желтое пятно, особенно центральная ямка, являются участком сетчатки, обеспечивающим наиболее отчетливое резкое зрение. На желтое пятно попадают изображения предметов, видимых под углом 6 – 7^{o}. Оптическая сила светопреломляющей системы глаза составляет 60–65 диоптрий. Около 70% оптической силы дает преломление света на поверхности роговой оболочки, остальное приходится на долю хрусталика. С возрастом в результате потери влаги эластичность хрусталика уменьшается и он становится более плоским. В том месте, где в глаз входит зрительный нерв, нет ни палочек, ни колбочек. Это место сетчатки называется слепым пятном, им глаз не видит. Диаметр слепого пятна около 1,8мм. Светочувствительность палочек и колбочек обусловлена наличием в них веществ, разлагающихся под действием световых лучей. В результате распада этих веществ возникает электрический импульс, который передается по зрительному нерву в головной мозг. Реакции распада

Витебский государственный технологический университет

светочувствительных веществ обратимы. После возникновения электрического импульса эти вещества восстанавливают свою первоначальную чувствительность к свету. Энергию для восстановления дают продукты, которые поступают в глаз через разветвленную сеть мельчайших кровеносных сосудов.

ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ ТЕОРИЯ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

Согласно трехкомпонентной теории цветового зрения восприятие цвета человеком обусловлено наличием в сетчатке глаза трех видов колбочек: красно– зелено– и синечувствительных. Каждый вид колбочек реагирует на лучи довольно широкого диапазона длин волн, но преимущественно они чувствительны к лучам определенных зон спектра. Красночувствительные колбочки наиболее сильно реагируют на излучения с длинами волн 500 — 650нм, зеленочувствительные и синечувствительные — на излучения с длинами волн соответственно 500 – 600 и 400 – 500нм.

Избирательная чувствительность колбочек обусловлена наличием в них различающихся по спектральной чувствительности веществ. При попадании на них световых лучей светочувствительные вещества подвергаются фото– деструкции, которая вызывает электрический импульс, передаваемый в головной мозг. В зависимости от соотношения импульсов, идущих от трех видов колбочек, создается ощущение того или иного цвета. При трех равных импульсах возникает ощущение ахроматических цветов, причем яркость цвета увеличивается с ростом силы импульса. Неравное возбуждение трех видов колбочек вызывает ощущение хроматических цветов. При изолированном возбуждении каждого вида колбочек возникает ощущение насыщенных цветов, соответственно красного, зеленого, синего.

Величина возбуждения светочувствительных элементов глаза под действием монохроматических излучений характеризуется кривыми основных возбуждений (кривыми спектральной чувствительности приемников глаза), представленными на рис. 5.

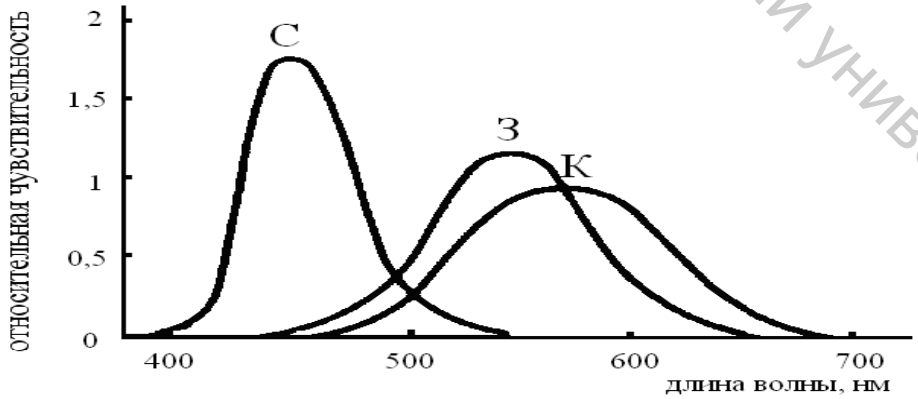


Рис. 5. Кривые спектральной чувствительности приемников глаза (кривые основных возбуждений)

Витебский государственный технологический университет

По этим кривым видно, например, что при воздействии монохроматического излучения с длиной волны 600 нм, зелено-ощущающие элементы возбуждаются примерно в два раза слабее, чем красно-ощущающие, а сине-ощущающие при этом не возбуждаются. Площади, ограниченные каждой кривой и горизонтальной осью, равны между собой, поэтому когда на глаз действует пучок белого света, происходит одинаковое возбуждение всех трех видов колбочек. Колбочковый аппарат глаза работает при значительном уровне освещения. При слабом сумеречном и ночном освещении колбочки не реагируют, а действуют одни палочки, обладающие высокой чувствительностью к световым лучам. При дневных уровнях яркости палочки "ослеплены" и не функционируют. В отличие от колбочек палочки не различаются по чувствительности к монохроматическим лучам, поэтому при их возбуждении возникает ощущение только ахроматических цветов. Вследствие этого в сумерках мы различаем предметы только по светлоте. Лиц с нормальным цветовым зрением называют **трихроматами**. Однако имеется значительный процент лиц (около 8% мужчин и 0,5% женщин) с неправильным цветоощущением. Их называют **цветнослепыми**, или **цветоаномалами** (иногда дальтониками).

Цветоаномалы могут быть дихроматами и монохроматами. Цветное зрение дихроматов двухмерно, т.е. их колбочковый аппарат реагирует только на излучения двух зон спектра. Среди дихроматов различают протанопов (краснослепых), девтеранопов (зеленослепых), тританопов (синеслепых). Палитра цветов, ощущаемых дихроматами, значительно беднее, чем у трихроматов. Монохроматы имеют одномерное цветовое зрение и все хроматические цвета воспринимают черно-белыми. У протанопов спектральная чувствительность красноощущающих элементов сдвинута в коротковолновую часть спектра и совпадает со спектральной чувствительностью зеленоощущающих элементов.

Вследствие этого в спектре при длине волны около 490 нм они видят ахроматическую зону, светло-красные цвета путают с темно-зелеными, а пурпурные и фиолетовые – с синими. Аномалия цветового зрения девтеранопов обусловлена неправильной спектральной чувствительностью зеленоощущающих элементов. Кривая чувствительности этих элементов у них совпадает с кривой красноощущающих колбочек. Наиболее светлые цвета в спектре для девтеранопов не желто-зеленые, а оранжевые. В спектре при длине волны около 500нм они видят ахроматическую зону, путают светло-зеленые цвета с темно-красными, фиолетовые с голубыми и пурпурные с серыми.

Краснослепые и зеленослепые не различают ни красных, ни зеленых цветов, а видят вместо них желтые цвета.

Для синеслепых спектр укорочен с фиолетового конца и в спектре они видят две серые зоны: в области желтых и в области синих цветов. Эти люди путают желтовато-зеленые цвета с синевато-зелеными и пурпурные с оранжево-красными.

Витебский государственный технологический университет

ЦВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЛАЗА

Нормальный глаз способен различать множество всевозможных цветов, отмечая их различие по цветовому тону, чистоте, светлоте или яркости.

Чувствительность глаза к изменению цветового тона для спектральных цветов характеризуется кривой рис. 6, на которой по оси ординат отложены значения порога цветоразличения по цветовому тону. Данная величина представляет собой минимальное различие по цветовому тону, воспринимаемое глазом.

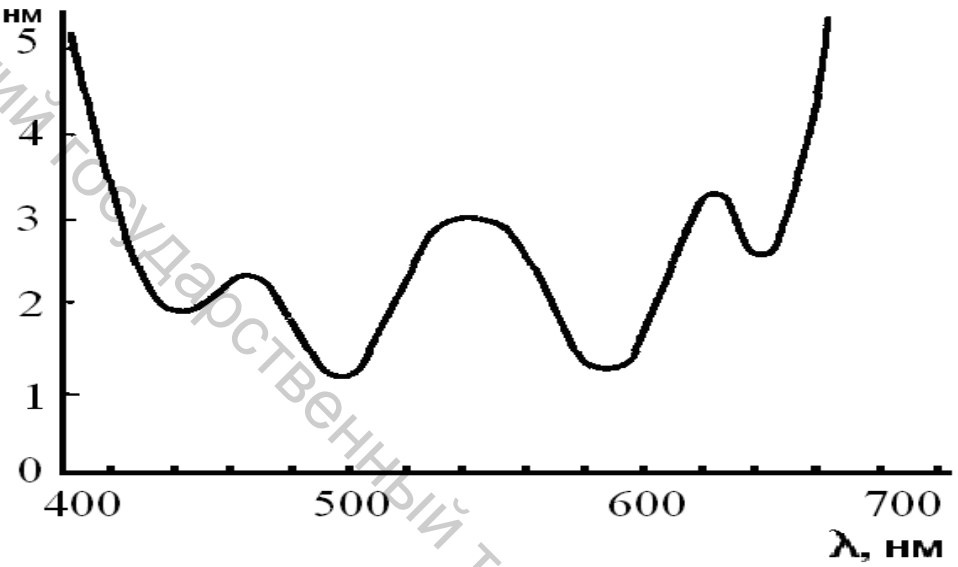


Рис. 6. Зависимость величины порога цветоразличения по цветовому тону от длины волны монохроматических излучений

Из рис. 6 видно, что наибольшая величина порога цветоразличения характерна для крайних цветов спектра. Минимальное значение $\Delta\lambda$ лежит в области около 500нм и 590нм. В этих частях спектра глаз замечает различие по цвету между излучениями, отличающимися примерно на 1нм. Для излучений диапазона 430–650нм порог цветоразличения составляет примерно 2–3нм. После длины волны 650нм кривая круто поднимается вверх и при длине волны 700 нм уходит в бесконечность. Это означает, что все лучи, для которых длина волны превосходит 700 нм, совершенно неразличимы по цвету, представляясь глазу одинаково красными. Для всего спектра число различающихся по цветовому тону цветов ориентировочно равно 130. Примерное число видимых глазом различных по цветовому тону пурпурных цветов равно 20.

Чувствительность глаза к изменению чистоты цвета представлена на рис. 15. По вертикальной оси на рисунке отложено количество порогов по насыщенности, различаемых глазом при разбавлении спектральных излучений пучком белого света до ахроматического цвета без изменения первоначальной яркости излучений.

Витебский государственный технологический университет

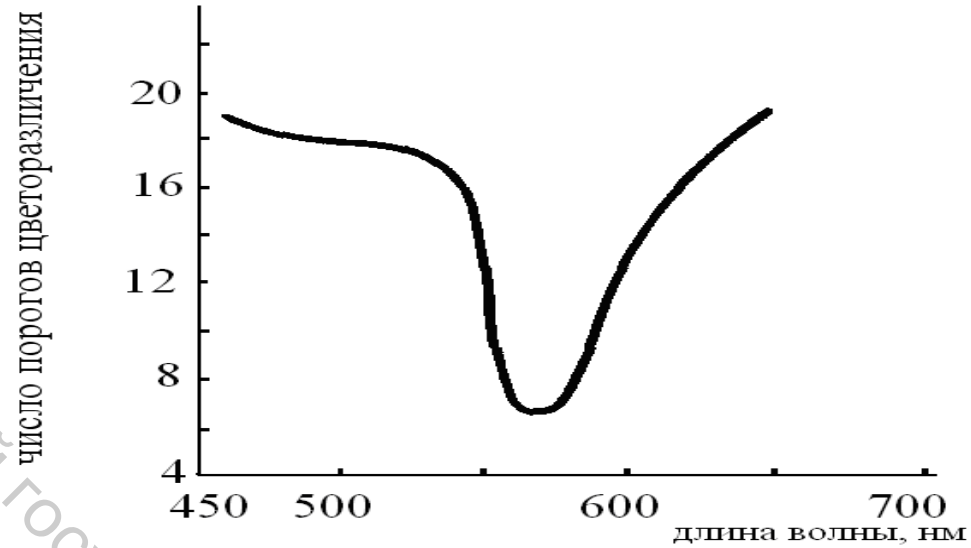


Рис. 7. Зависимость числа порогов цветоразличения по насыщенности от длины волны монохроматических излучений (при изменении чистоты от 100% до 0)

Как видно из рис.7, наибольшее число порогов (18 – 20 порогов) характерно для излучений коротко- и длинноволновой части спектра, т.е. при рассматривании синих, голубых, зеленых и красных цветов глаз замечает разницу по чистоте примерно в 5 – 6% (100/20 = 5).

Для излучений желтого цвета (λ = 560…590 нм) число порогов цветоразличения составляет примерно 7, т.е. минимально видимая разница между цветами по чистоте составляет около 16%.

Способность глаза реагировать на изменение яркости характеризуется законом Вебера-Фехнера. Этими исследователями установлено, что для любого органа чувств изменение ощущения прямо пропорционально относительному приращению раздражения. Применительно к ощущению света закон означает, что реакция глаза на изменение яркости света прямо пропорциональна относительному изменению яркости. Можно сказать, что для темных цветов изменение светлоты будет визуально более заметно, чем ее изменение на эту же величину для светлых цветов, поскольку относительное приращение светлоты в первом случае будет выше, чем во втором.

Закон Вебера-Фехнера служит основой для построения равно-ступенчатых шкал цветов, в том числе и для построения равно-ступенчатых шкал серых эталонов, применяемых для оценки прочности окрасок к физико-химическим воздействиям. Согласно этому закону для получения равно-ступенчатых шкал ахроматических цветов (т.е. ряда цветов, отличающихся визуально друг от друга по светлоте на одно и то же число порогов)

Витебский государственный технологический университет

необходимо, чтобы светлота этих цветов изменялась в геометрической прогрессии.

Едва различимая глазом величина относительного приращения яркости ($dB_п/B$) называется **относительным порогом яркости**. Установлено, что относительный порог яркости имеет постоянное значение только в диапазоне яркостей 0 – 1000 кд/м^2 (рис.8), т.е. закон Вебера-Фехнера соблюдается только при этих яркостях.

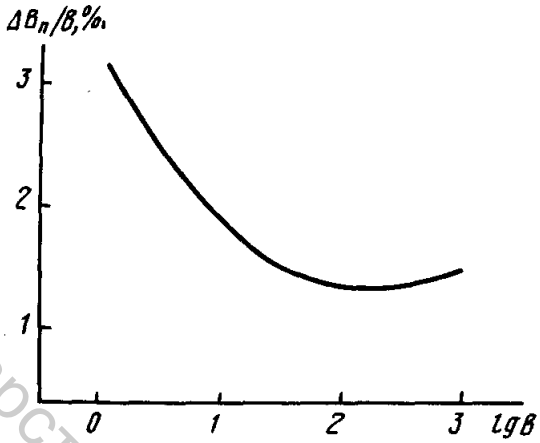


Рис. 8. Зависимость относительного порога яркости (кд/м^2) от логарифма яркости света

Величина относительного порога яркости в этом диапазоне не зависит от цвета излучения и составляет примерно 1,4%. С уменьшением яркости относительный порог яркости увеличивается, при этом изменение его величины связано с цветом излучения (рис.9).

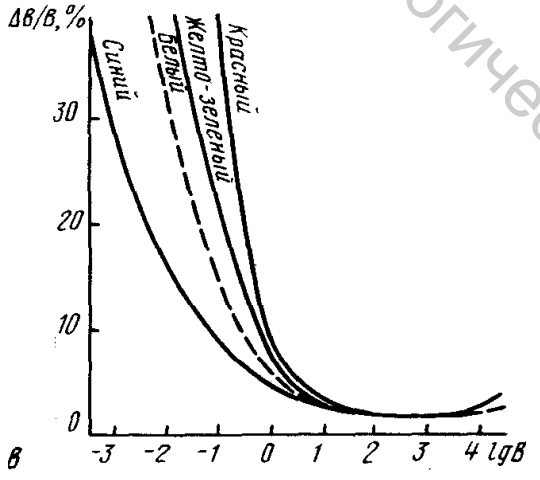


Рис. 9. Кривые зависимости относительного порога яркости (кд/м^2) от логарифма яркости для разных цветов

С увеличением яркости свыше 1000 кд/м^2 пороговое значение яркости также увеличивается, т.е. чувствительность глаза к различению яркости

Витебский государственный технологический университет

уменьшается. Зрительное восприятие яркости различных по цвету объектов связано с явлением, получившим название эффекта Пуркинье. Явление это состоит в том, что для различно окрашенных предметов соотношение их кажущихся яркостей меняется с общим уровнем яркости. Осветим одну половину фотометрического поля красным светом, а другую – синим, и притом так, чтобы яркости обоих полей казались совершенно одинаковыми и были большими. После этого уменьшим освещенность обоих полей в одинаковое число раз до незначительного уровня и сравним их. Окажется, что синее поле будет казаться ярче, чем красное. Проделав аналогичные опыты с другими цветами, мы установим, что при значительном ослаблении света голубые, синие и фиолетовые цвета выигрывают в яркости по сравнению с красными, оранжевыми, желтыми. Подобное явление мы наблюдаем в окружающей нас природе с переходом от яркого дневного света к ночной темноте.

Причина эффекта Пуркинье состоит в изменении спектральной чувствительности нашего органа зрения с изменением яркости. Установлено, что с уменьшением яркости поля зрения кривая спектральной чувствительности глаза, сохраняя примерно свою форму, постепенно смещается в сторону фиолетового конца спектра. Если при ярком дневном освещении максимум кривой приходится на 555нм, то при очень слабом сумеречном свете – на 510нм.

Изменение спектральной чувствительности глаза связано с тем, что при ярком свете светочувствительные элементы, именуемые палочками, полностью выключаются и зрение осуществляется только посредством колбочек. При очень слабом свете, напротив, выключаются колбочки и действуют только палочки, спектральная чувствительность которых отличается от колбочек. Между двумя этими конечными состояниями существует переходная область яркостей, в которой колбочки и палочки действуют одновременно, кривая видности при этом занимает промежуточные положения, а с изменением яркости также непрерывно видоизменяется.

КОНТРАСТ ЦВЕТОВ

Если некоторое время смотреть на один цвет, а затем перевести взгляд на другой, то первое время будет наблюдаться искаженное восприятие этого цвета. Цвета воспринимаются несколько иначе и под влиянием других, окружающих или соприкасающихся с ними цветов. Подобные явления называются ***контрастом цветов.*** Различают одновременный и последовательный контраст.

Последовательный контраст – изменение цвета в результате предварительного воздействия на глаз других цветов, а ***одновременный контраст*** – изменение цвета под влиянием окружающих цветов.

Возьмем лист белой бумаги и поставим в середине его точку. Верхнюю половину этого листа накроем листом черной бумаги так, чтобы поставленная

Витебский государственный технологический университет

точка находилась у нижнего края черного листа. Если внимательно смотреть на эту точку, не сводя с нее глаз, в течение 15 - 20 с, а затем убрать черный лист и продолжать смотреть на точку, то часть белого листа, которая была прикрыта черным, покажется светлее, чем другая его половина. Рассмотренный случай изменения восприятия цвета – пример последовательного светлотного контраста. При таком виде контраста изменяется восприятие светлоты цвета. Причина наблюдаемого явления заключается в следующем. В период фиксации зрения на точке в глаз попадают лучи как от белого, так и от черного листа бумаги, причем эти лучи действуют на разные участки сетчатки глаза. Лучи, отраженные от белого листа, "утомляют" участок сетчатки, на который они попадают, в то время как участок сетчатки, куда падают лучи от черного листа, "отдыхает" (вследствие малой мощности этих лучей). После того как черный лист убран, на все участки сетчатки попадет свет одинаковой мощности и утомленные нервные окончания воспримут его как более темный, а окончания, почти не работавшие, – как более светлый.

Рассмотрим теперь другой случай (пример последовательного хроматического контраста). На лист белой бумаги поместим небольшой кружок красного цвета. Если сосредоточенно в течение 20 секунд смотреть в центр этого круга, а затем перевести взгляд на чистый участок листа, сосредоточив взгляд в одной точке, то в этом месте листа в течение нескольких секунд мы будем наблюдать аналогичный по размерам круг голубоватого цвета. Наблюдаемый эффект объясняется следующим образом. При рассматривании красного кружка в большей степени работали красночувствительные колбочки, в результате чего произошло снижение их чувствительности. При перемещении взгляда на лист белой бумаги в глаз попадают отраженные от него лучи, которые в одинаковой мере действуют на светочувствительные элементы трех видов. Однако вследствие снижения чувствительности элементов, реагирующих на длинноволновые излучения, сила импульса от этих элементов меньше, чем от двух других видов колбочек. Преобладание импульсов от сине- и зеленочувствительных колбочек и вызывает ощущение голубоватого цвета.

Если в рассмотренном выше опыте взять кружок зеленого цвета, возникающий образ будет иметь розоватый цвет.

Из рассмотренных примеров следует, что возникающий при хроматическом контрасте цвет является приблизительно дополнительным к цвету, первоначально воздействовавшему на глаз.

Одновременный контраст отличается от последовательного тем, что два цвета рассматриваются не один после другого, а одновременно. Одновременный контраст так же, как и последовательный бывает светлотный и хроматический.

Положим несколько одинаковых серых фигур на листы бумаги белого и черного цвета и сопоставим их цвет. Окажется, что фигура, лежащая на листе черного цвета, будет выглядеть светлее, чем лежащая на белом листе.

Витебский государственный технологический университет

Наблюдающееся изменение светлоты фигур – проявление светлотного одновременного контраста.

Если вместо серых фигур взять какие-нибудь хроматические, то восприятие их светлоты также будет зависеть от светлоты фона, на котором они лежат. Светлотный контраст проявляется всегда, когда светлота фигуры отличается от светлоты фона. На темном фоне фигура воспринимается светлее, на светлом – темнее.

При одновременном хроматическом контрасте ахроматические цвета воспринимаются хроматическими или наблюдается изменение цветового тона и насыщенности хроматических цветов. Серая фигура на желтом фоне будет казаться синеватой, а лежащая на зеленом фоне – розоватой. Фигура желтого цвета на зеленом фоне выглядит желто-оранжевой, а фигура розового цвета на этом фоне смотрится более насыщенной. Таким образом, при хроматическом контрасте всякий цвет под влиянием окружающих его хроматических цветов изменяется так, как будто бы к нему добавлен в некотором количестве цвет, являющийся дополнительным к цвету фона.

Для одновременного контраста цветов характерны следующие закономерности:

1) чем больше светлота фона отличается от светлоты цвета фигуры, тем в большей степени проявляется светлотный контраст;

2) чем ближе светлота цвета фигуры к светлоте фона, тем сильнее проявляется хроматический контраст.

При большой разнице в светлотах фона и фигуры хроматический контраст менее заметен. В этих условиях одновременно с хроматическим проявляется и светлотный контраст, снижающий восприятие хроматического контраста.

Хроматический контраст лучше всего наблюдается тогда, когда оба цвета имеют средний уровень светлоты. Когда фон и фигура темные, контраст менее заметен вследствие пониженной чувствительности глаза к восприятию цветности при низких значениях яркости цветов. При высоких светлотах фона и фигуры хроматический контраст также менее заметен, что объясняется более слабой реакцией глаза в этих условиях в соответствии с законом Вебера-Фехнера.

Насыщенность цвета фона также влияет на восприятие хроматического контраста. На цветном фоне малой насыщенности он проявляется заметнее, чем на фоне высокой насыщенности. Объясняется это кажущееся противоречие следующим образом. На фоне высокой насыщенности ахроматическая фигура приобретает более насыщенный цвет, чем на фоне с малой насыщенностью. Однако ввиду большой разницы в насыщенностях фона и фигуры в первом случае изменение цвета фигуры визуально менее заметно по сравнению с фигурой, лежащей на малонасыщенном фоне.

Одновременный контраст проявляется тем сильнее, чем большую площадь занимает цвет, вызывающий контраст, и чем меньше площадь, на

Витебским государственным технологическим университетом

которой контраст вызывается. Из двух фигур с одинаковой площадью контраст проявляется сильнее на той из них, которая имеет больший периметр. Если площадь фона мала, а площадь фигуры большая, цвет фигуры меняется только по краям (краевой контраст).

Тема 3 . ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЦВЕТА

Всякий отдельно взятый цвет или сочетание цветов может восприниматься человеком различно в зависимости от культурно-исторического контекста, от пространственного расположения цветового пятна, его формы и фактуры, от настроенности и культурного уровня зрителей и многих других факторов. Поэтому попытки составления “реестров” жестких соответствий между цветом и эмоциональным состоянием нельзя признать плодотворными.

Значение данной проблемы для художников прикладных специальностей достаточно ясно. Ведь любое произведение прикладного искусства или дизайна – стены зданий, декоративные ткани, предметы убранства, одежда, машины и орудия труда – создает цветовую среду, так или иначе формирующую душевное состояние человека, влияющую на настрой его мыслей и уровень работоспособности.

Из всего комплекса вопросов, составляющих сложную проблему психологического воздействия цвета, для дизайнеров особенно актуальны вопросы о физиологических реакциях человека на цвет и о цветовых ассоциациях. Изложим вкратце их суть. Все спектральные цвета тем или иным образом влияют на функциональные системы человека.

Красный – возбуждающий, согревающий, активный, энергичный, проникающий, тепловой, активизирует все функции организма. Используется для лечения ветряной оспы, скарлатины, кори и некоторых кожных заболеваний; на короткое время увеличивает мускульное напряжение, повышает кровяное давление, ускоряет ритм дыхания.

Оранжевый – тонизирующий; действует в том же направлении, что и красный, но слабее; ускоряет пульсацию крови, улучшает пищеварение.

Желтый (самый светлый в спектре) – тонизирующий, физиологически оптимальный, наименее утомляющий; стимулирует зрение и нервную деятельность.

Зеленый (самый привычный для органа зрения) – физиологически оптимальный; уменьшает кровяное давление и расширяет капилляры; успокаивает и облегчает невралгии и мигрени; на продолжительное время повышает двигательно-мускульную работоспособность.

Голубой – успокаивающий; снижает мускульное напряжение и кровяное давление, успокаивает пульс и замедляет ритм дыхания.

Синий – успокаивающее действие переходит в угнетающее; способствует затормаживанию функций физиологических систем человека.

Витебский государственный технологический университет

Фиолетовый – соединяет эффект красного и синего цветов; производит угнетающее действие на нервную систему.

Изучая этот список, можно заметить в нем интересную особенность – периодичность. Возбуждающее действие цвета как будто находится в периодической зависимости от длины волны. Функция возбуждающего действия может быть изображена в виде синусоиды. Длины волн излучения удобнее откладывать на горизонтальной оси в порядке убывания.

Первый по счету цвет, красный, – самый возбуждающий. Но максимальной степени этого качества он достигает не в самом начале видимой области спектра, а несколько отступя от начала, т. е. там, где этот цвет приобретает максимальную для своего цветового тона яркость. Оранжевый и желтый – тонизирующие цвета, т. е. возбуждающее действие их умеренно, уменьшено количественно. Зеленый – физиологически нейтральный цвет, поскольку он является цветом биологической среды, из которой вышел человек. В голубом цвете уже явно ощущается успокаивающее действие, которое по мере перехода голубого к синему и фиолетовому возрастает. И, наконец, фиолетовый цвет воздействует угнетающе. Однако, подходя от красного к фиолетовому концу, спектр стремится замкнуться. Крайности сходятся. В фиолетовом появляется что-то от красного, т. е. что-то возбуждающее. Пурпурным цветом, объединяющим в себе свойства красного и фиолетового, круг замыкается. Впервые эту закономерность заметил Ш. Ферри, о чем упомянул М. Дерибере в книге “Цвет в деятельности человека”.

Деятельность органа зрения может возбуждать и другие органы чувств: осязание, слух, вкус, обоняние. Цветовые ощущения могут также вызывать воспоминания и связанные с ними эмоции, образы, психические состояния. Всё это называют ***цветовыми ассоциациями***.

Цветовые ассоциации можно подразделить на несколько больших групп: физические, физиологические, этические, эмоциональные, географические и др. В пределах каждой группы содержатся более мелкие подразделения. Приведем примеры.

Физические ассоциации:

а) весовые (легкие, тяжелые, воздушные, давящие, невесомые...);

б) температурные (теплые, холодные, горячие, ледяные, жгучие...);

в) фактурные (мягкие, жесткие, гладкие, колючие, шершавые, скользкие...);

г) акустические (тихие, громкие, глухие, звонкие, музыкальные...);

д) пространственные (выступающие, отступающие, глубокие, поверхностные...).

Эмоциональные ассоциации:

а) позитивные (веселые, приятные, бодрые, оживленные, лирические...);

б) негативные (грустные, вялые, скучные, трагические, сентиментальные...);

в) нейтральные (спокойные, безразличные, уравновешенные...).

Витебский государственный технологический университет

Этот список можно продолжить. Нетрудно видеть, что почти любое прилагательное нашей речи соответствует какому-нибудь цвету. Это свидетельствует о чрезвычайной широте и универсальности цветовых ассоциаций, об исключительно важном месте, которое они занимают в жизни человека независимо от того, осознает он это или нет. Путь образования цветовых ассоциаций подобен процессу образования условных рефлексов. Ощущения и эмоции, вызываемые каким-либо цветом, аналогичны ощущениям, связанным с предметом или явлением, постоянно окрашенным в данный цвет. Всякий читатель, по-видимому, может привести немало примеров из своего личного опыта, подтверждающих эту закономерность.

Очевидно, различные цвета обладают неодинаковой способностью вызывать психические реакции.

Для оценки этих различий введем понятие качества ассоциаций. К качествам могут быть отнесены:

а) однозначность ощущения (т.е. определенность его, повторяемость при различных условиях для одного и того же индивидуума);

б) интенсивность ощущения;

в) устойчивость в пределах большой группы людей.

Качества цветовых ассоциаций, а также эстетическая оценка цветов зависят как от объективных свойств самих цветов, так и от свойств воспринимающего субъекта.

К объективным свойствам цвета относятся его чистота, светлота (яркость), форма цветового пятна, место и значение его в визуальной структуре, материал и фактура.

Свойства воспринимающего субъекта можно подразделить на групповые и индивидуальные. К первым отнесем национальный фактор (раса, этническая группа), культурные традиции, классовую принадлежность. Ко вторым относятся возраст, пол, культурный уровень, образование, род деятельности, особенности нервно-психического склада субъекта.

Многочисленные исследования (М. Сент-Джордж, Б. Райт, Л. Рейнватер, А. Купле, Р. Франсэ и др.), а также высказывания художников и поэтов позволяют сделать некоторые выводы относительно связи объективных свойств цвета с реакциями, которые они вызывают.

1. Чем чище и ярче цвет, тем определеннее, интенсивнее и устойчивее реакция.

2. Сложные, малонасыщенные, среднесветлые цвета вызывают весьма различные (неустойчивые) и относительно слабые реакции.

3. К наиболее однозначным ассоциациям относятся температурные, весовые и акустические (самые разные люди оценивают эти качества цвета в основном одинаково).

4. К наиболее неоднозначным ассоциациям относятся вкусовые, осязательные, обонятельные, эмоциональные, т. е. те, которые связаны с более

Витебский государственный технологический университет

интимными переживаниями и с деятельностью биологических органов чувств. Здесь даже близкие люди могут по-разному реагировать на одни и те же цвета.

5. Пурпурные цвета даже в чистом и ярком виде вызывают разные реакции. (Это можно объяснить двойственностью их природы.)

6. Желтые и зеленые цвета вызывают наибольшее разнообразие ассоциаций. (Это происходит потому, что в данной области спектра глаз различает наибольшее количество оттенков. В природе богаче всего представлены именно эти цвета. Каждый из оттенков желтого или зеленого связывается в сознании с определенным предметом или явлением, отсюда и богатство ассоциаций.)

Выше упоминалось о том, что одним из факторов, влияющих на эмоциональное переживание цвета, является форма предмета или пятна, несущего данный цвет. Таким образом, впечатление, производимое цветом, тесно связано с предметной структурой и, значит, зависит от всех ее качеств. Изучить закономерности этой связи – значит изучить историю искусства и культуры, так как невозможно сформулировать какие-либо общие теоретические положения в этой области вне конкретно-исторической ситуации.

Все же имеются интересные попытки описания соответствий между эмоциями человека и комплексом пластических, звуковых и цветовых образов (по наблюдениям над нашими современниками). Одна из таких попыток принадлежит Дж. Ормсби Саймондсу в книге “Ландшафт и архитектура”. Поскольку выводы Саймондса носят обобщающий характер и содержат ценные мысли для дизайнеров любого профиля, считаем возможным привести их здесь.

Напряжение. Неустойчивые формы. Дробная композиция. Нелогичные сложности. Обширный ряд значений. Цветовой конфликт. Непрерывная интенсивность цвета.

Зрительная ***неуравновешенность*** по отношению к линии или точке. Отсутствие точки, на которой может отдохнуть глаз. Жесткие, шероховатые или зазубренные поверхности. Незнакомые элементы. Резкий ослепляющий или вибрирующий свет. Резкие колебания температуры. Пронзительный, действующий на нервы, звук.

Разрядка. Простота. Объем может меняться по размеру от интимного до грандиозного. Соответствие. Знакомые объекты и материалы. Плавные линии. Изгибающиеся формы и пространства. Явная конструктивная устойчивость. Горизонтальность. Приятные и удобные очертания. Мягкий свет. Успокаивающий звук. Объем, насыщенный спокойными цветами - белыми, серыми, синими, зелеными.

Испуг. Ощущаемое ограничение. Очевидная западня. Отсутствие точек ориентации. Отсутствие средств, позволяющих оценить положение или масштаб. Скрытые зоны и пространства. Наклоненные, искаженные или разбитые плоскости. Нелогичные неустойчивые формы. Скользкая плоскость пола. Опасность. Незащищенные пустоты. Острые выступающие элементы.

Витебский государственный технологический университет

Искаженные пространства. Тусклость, темнота, мрачность. Бледный и трепещущий или же, наоборот, ослепляющий свет. Холодные синие, холодные зеленые тона. Ненормальный монохроматический цвет.

Веселье. Свободные пространства. Гладкие, плавные формы и узоры. Возможность вихревого, мечущегося и петляющего движения. Движение и ритм, выраженные в сооружении. Отсутствие ограничений. Формы, цвета и символы, взывающие скорее к эмоциям, чем к интеллекту.

Возможность театрализованности. Зачастую светлое, яркое и стихийное, взятое в контрасте с тяжеловесным и темным. Теплые яркие цвета. Мимолетный, сверкающий, мерцающий свет. Веселые, бодрые звуки.

Созерцание. Масштабность не имеет значения, так как субъект погрузится в глубины своего сознания. Все пространство может быть успокаивающим и скромным или же очень просторным и богато разукрашенным – лишь бы конструктивные формы не привлекали внимание. Отсутствие отвлекающих резких контрастов. Символы, если только они использованы, должны иметь отношение к теме созерцания. Пространство должно обеспечивать ощущение изолированности, уединения, отрешенности и покоя. Мягкий рассеянный свет. Спокойные нейтральные цвета. Низкие приглушенные потоки звуков, не воспринимаемые сознанием.

Динамическое действие. Смелые формы. Мощный конструктивный ритм. Плоскости, поставленные под углом. Диагонали. Массивные материалы, такие, как камень, бетон, дерево или сталь. Грубые естественные поверхности. Крутая вертикаль. Явный композиционный центр. Концентрация внимания на фокусной точке действия – на трибуне, на точке сбора или на входных воротах, куда направлено общее движение. Движение, вызываемое динамичными линиями, движущимся светом и решительными изменениями формы, характера и звука. Сильные простые цвета.

Возвышенное, духовное. Поражающий масштаб, который превосходит обычное человеческое представление и погружает входящего в огромное пространство. Высоко парящие формы в контрасте с низкими горизонтальными формами. Объем устроен так, чтобы держать человека как бы пригвожденным к обширной плоскости пола, в то время как взор и мысли стремятся вверх по вертикали. Ориентация вверх. Завершенный композиционный порядок, часто симметричный. Применение дорогих и капитальных материалов. Применение сдержанного белого. Если же применен цвет, то это холодные цвета, такие как сине-зеленые и фиолетовые.

Недовольство. Раздражающая смена направлений и раскрытий. Зоны и пространства, не подходящие для предполагаемого использования. Помехи. Крайности. Несвоевременные затруднения. Отсутствие комфорта. Неприятная фактура. Неверное использование материалов. Нелогичность. Фальшь. Ненадежность. Утомительность. Крикливость. Скука. Беспорядок. Дисгармоничные цвета. Диссонирующие звуки. Неприятная температура или влажность. Неприятное качество света.

Витебский государственный технологический университет

Удовольствие. Пространство, формы, фактуры, цвета, символы, звуки, световые качества, явно подходящие к использованию пространства, каким бы оно ни было. Удовлетворение ожиданий, требований или желании. Развитие последовательностей и их осуществление. Гармоничные соотношения. Единство при разнообразии. Возникающее в результате качество красоты.

РАЗДЕЛ 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА
Тема 1. ОСНОВЫ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

ОСНОВНЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Всякий светящийся предмет излучает энергию, которая в форме электромагнитных волн распространяется в разные стороны. Количество энергии излучения Q, прошедшее через произвольно выбранное сечение за единицу времени, называется потоком излучения (Ф), т.е.

$$\Phi = Q/t. \quad (1)$$

Единицей потока излучения является **ватт**.

Для оценки зрительного восприятия потока световой энергии в фотометрии используются следующие величины: световой поток (F), сила света (J), яркость (B), освещенность (E). Поскольку ощущение света и цвета вызвано действием на глаз человека излучений одного и того же диапазона длин волн, данные фотометрические величины используются и в колориметрии, т.е. при цветовых измерениях.

Сила света – это отношение светового потока точечного источника света к величине телесного угла, в котором он распространяется:

$$J = F/\omega. \quad (2)$$

Единицей силы света является кандела (кд). Ее значение принимается таким, чтобы яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины была бы равна 60 кд на 1 $см^2$. Под полным излучателем понимается устройство, обладающее свойствами абсолютно черного тела.

Световой поток – поток световой энергии, оцененный по его воздействию на глаз человека. Единицей светового потока является **люмен** (лм). Он равен световому потоку, излучаемому изотропным источником с силой света в 1кд в пределах телесного угла в один стерадиан (1 лм =1 кд·1 стер).

Изотропным называется такой источник света, для которого сила света не зависит от направления.

Для изотропного источника $J = F/(4\pi)$, где F – полный световой поток, излучаемый источником по всем направлениям.

Витебский государственный технологический университет

Телесный угол 1стер – это угол, вырезающий на поверхности сферы единичного радиуса площадь, равную единице. Телесный угол такой величины заключается в круговом конусе с плоским углом раствора при вершине в 63,5° .

Между потоком излучения и световым потоком существует определенное соотношение, которое зависит от спектрального состава энергии излучения. Обусловлено это тем, что наш глаз по-разному реагирует на излучения. К излучениям одних частей спектра он более чувствителен, к излучениям других менее чувствителен, одни лучи вызывают в глазу более сильное раздражение, другие – менее сильное. Наиболее чувствителен глаз к желто-зеленым лучам, уже небольшое их количество воспринимается зрением как яркий свет. Чувствительность глаза к спектральным излучениям уменьшается по мере перехода от желто-зеленых к красным и фиолетовым лучам.

Возьмем несколько источников света, у которых цвет различный, а излучаемый световой поток одинаков, т.е. цветные источники выглядят равнояркими.

Пусть, например, это будут разноцветные лампы накаливания, причем каждая из них дает световой поток в 1лм. При помощи термоэлемента (прибора, позволяющего измерить поток излучения, выражаемый в ваттах) определим потоки излучения, испускаемые каждой из этих ламп. Окажется, что, хотя световые потоки у всех ламп одинаковые, потоки излучения у них разные.

Обозначим отношение светового потока к потоку излучения коэффициентом К(λ). Установлено, что К(λ) имеет максимальное значение для монохроматического излучения с длиной волны 556 нм, что соответствует желто-зеленому цвету. Коэффициент К(λ), соответствующий этой длине волны, равен 683 лм/Вт, его принято называть **световым эквивалентом мощности,** или **световой отдачей**.

Таким образом, монохроматический поток лучей с λ = 556нм, имеющий мощность 1Вт, несет в себе световой поток в 683лм. Для других монохроматических излучений коэффициент К(λ) определяется как

$$К(\lambda) = 683\ \nu(\lambda),$$

где 683 – световой эквивалент мощности; ν(λ) – ордината кривой спектральной чувствительности глаза для соответствующего излучения с длиной волны λ.

Яркость – сила света, отнесенная к единице площади светящейся поверхности, расположенной перпендикулярно направлению света:

$$B = J/S. \qquad (3)$$

Если светящаяся поверхность рассматривается под некоторым углом, то яркость этой поверхности в данном направлении равна отношению силы света поверхности в этом направлении к площади ее проекции на плоскость, перпендикулярную к линии зрения.

Единицей яркости служит кандела на квадратный метр (кд/м^2).

Витебский государственный технологический университет

Яркостью в 1кд/м^2 обладает равномерно светящаяся плоская поверхность в направлении нормали к ней, если в этом направлении сила света 1м^2 поверхности равна 1кд.

Освещенностью (Е) некоторого участка плоскости называется световой поток, приходящийся на единицу площади. Единицей измерения освещенности является люкс (лк).

Люкс – это освещенность, при которой световой поток в 1 лм равномерно распределен на поверхности в 1м^2.

ЦВЕТОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Определение характеристик цвета несветящихся тел может проводиться тремя методами:

- расчетным путем по кривым спектрального отражения или пропускания света;
- с помощью колориметрических приборов;
- с использованием атласов цветов.

Расчетный метод нахождения характеристик цвета сводится к определению координат цвета интегральным методом или методом избранных ординат. При необходимости с помощью цветовых графиков МКО переходят от координат цвета к характеристикам цветовой тон, чистота, светлота цвета.

Необходимо отметить, что определение цвета путем расчета по кривым спектрального отражения или пропускания является одним из наиболее распространенных методов и позволяет получать характеристики цвета с наибольшей точностью. Точность расчета координат цвета по этому методу определяется только точностью измерения спектрального коэффициента отражения или пропускания и не зависит от спектральной чувствительности приемников излучения и спектрального состава источника света, установленных в спектрофотометрическом приборе. Колориметрические приборы предназначены для непосредственного измерения цвета. В зависимости от принципа регистрации излучения они делятся на визуальные (измерение цвета производится визуально) и фотоэлектрические (измерение цвета производится с помощью фотометрических устройств). Колориметрические приборы подразделяются на два вида – колориметры и компараторы. Во всех типах приборов, используемых для цветовых измерений, условия освещения и наблюдения светорассеивающих образцов должны соответствовать одному из следующих видов.

1. 45/0. Образец освещается одним или несколькими пучками, оси которых составляют угол 45±5° относительно нормали к поверхности образца. Угол между направлением наблюдения и нормалью к образцу должен находиться в пределах 0 - 10°, угол между осью освещающего пучка и любым его лучом не должен превышать 5°.

Такие же ограничения должны соблюдаться и для наблюдаемого пучка.

Витебский государственный технологический университет

2. 0/45. Образец освещается пучком света, ось которого составляет с нормалью к образцу угол не более 10°. Образец наблюдается под углом 45±5° относительно нормали. Угол между осью освещающего пучка и любым его лучом не должен превышать 5°. Такие же ограничения должны быть соблюдены и для наблюдаемого пучка.

3. Дифф./0. Образец освещается диффузно с помощью интегрирующей сферы. Угол между нормалью к образцу и осью пучка наблюдения не должен превышать 10°. Интегрирующая сфера может иметь любой диаметр при условии, что суммарная площадь отверстий не превышает 10% внутренней отражающей поверхности сферы. Угол между осью наблюдаемого пучка и любым его лучом не должен превышать 5°.

4. 0/Дифф. Образец освещается пучком, ось которого составляет с нормалью к образцу угол не более 10°. Отраженный поток собирается с помощью интегрирующей сферы. Угол между осью освещающего пучка и любым его лучом не должен превышать 5°. Интегрирующая сфера может иметь любой диаметр при условии, что суммарная площадь отверстий не превышает 10% внутренней отражающей поверхности сферы.

Перечисленные условия освещения и наблюдения схематически представлены на рис. 10.

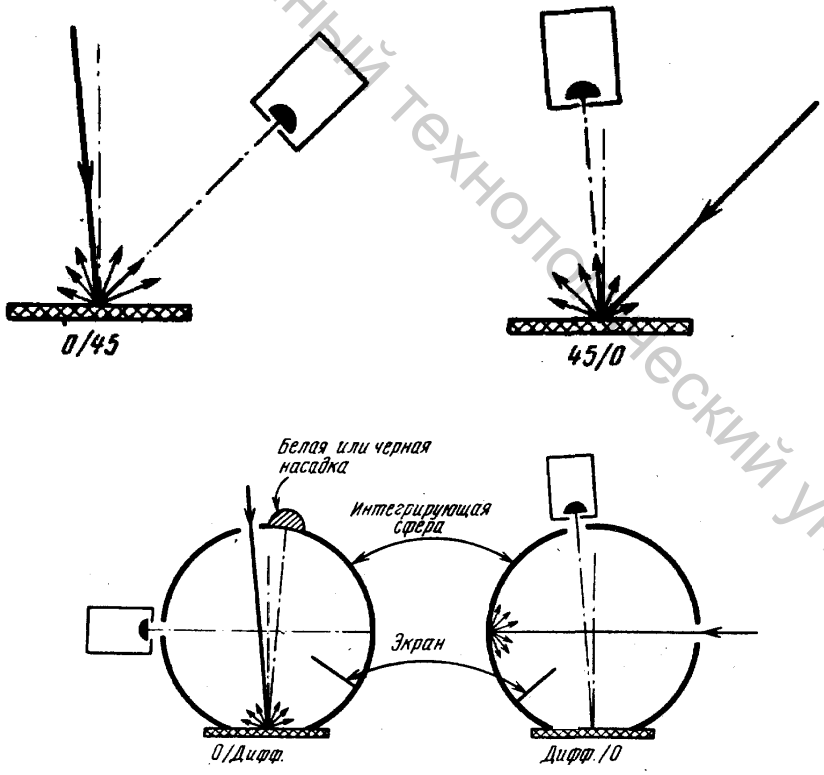


Рис. 10. Схема, иллюстрирующая четыре вида освещения и наблюдения, стандартизированные МКО для измерения коэффициента отражения

Витебский государственный технологический университет

Для условий Дифф./0 и 0/Дифф. прямой отраженный поток мог бы до некоторой степени нарушить условие диффузности освещения или наблюдения, поэтому в интегрирующей сфере между образцом и освещаемой или наблюдаемой частью стенки сферы размещается экран, уменьшающий возможность попадания на образец или стенку прямого отраженного света.

Приемниками излучения в приборах фотоэлектрического типа являются фотоэлементы. Для измерения цветовых характеристик в системе XYZ фотоэлементы должны отвечать специальным требованиям (их спектральная чувствительность должна соответствовать "кривым сложения" цветов). Необходимость этих требований объясняется следующим образом.

Величина тока, возникающего на фотоэлементе при попадании на него светового потока, отраженного от образца, определяется зависимостью

$$I = c \int_{380}^{780} \Phi\omega(\lambda)\, \rho(\lambda)\, J(\lambda)\, d\lambda, \qquad (4)$$

где с — постоянная; $\Phi\omega(\lambda)$ – мощность излучения монохроматических лучей в спектре стандартного источника света; $\rho(\lambda)$ – коэффициент отражения измеряемого образца; $\varphi(\lambda)$ – спектральная чувствительность приемника излучения.

Спектральная чувствительность фотоэлемента представляет собой функцию от длины волны, пропорциональную величине фототока, возникающего в цепи фотоэлемента при падении на него монохроматических излучений с постоянной мощностью.

Из сопоставления формулы (4) с формулами, определяющими координаты цвета, следует, что в случае соответствия кривых спектральной чувствительности фотоэлементов "кривым сложения": $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, величины фототока фотоэлементов будут пропорциональны координатам цвета.

Изготовить фотоэлементы с требуемой спектральной чувствительностью невозможно, поэтому для этой цели используют специальные светофильтры, корригирующие чувствительность фотоэлементов и обеспечивающие воспроизведение в комбинации с фотоэлементами кривых $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$.

Особые трудности связаны с воспроизведением кривой $\bar{x}(\lambda)$, имеющей два максимума. В связи с этим в некоторых колориметрах и компараторах вместо кривой $\bar{x}(\lambda)$ воспроизводится некоторая кривая $\bar{x}_н(\lambda)$, определяемая соотношением

$$\bar{x}_н(\lambda) = 0{,}833\,\bar{x}(\lambda) + 0{,}333\,\bar{y}(\lambda) - 0{,}167\,\bar{z}(\lambda). \qquad (5)$$

Постоянные коэффициенты в этом соотношении подобраны таким образом, чтобы получить кривую с одним максимумом, удобную для воспроизведения (рис. 11).

Витебский государственный технологический университет

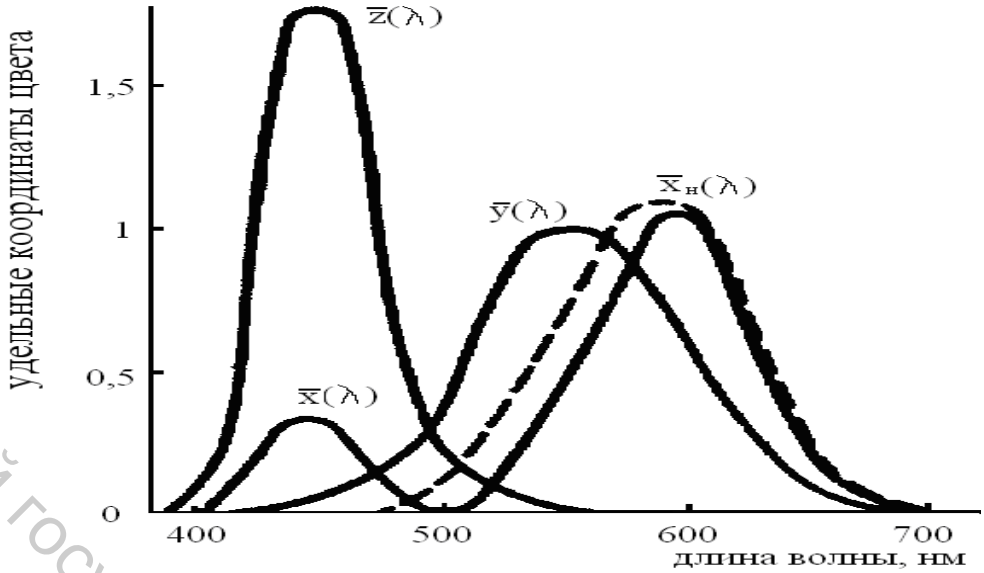


Рис. 11. Кривые сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ Международной колориметрической системы и кривая $\bar{x}_н(\lambda)$ (пунктирная линия)

СПЕКТРОФОТОМЕТРЫ

Спектрофотометры предназначены для измерения коэффициентов пропускания, оптической плотности прозрачных и мутных сред и коэффициентов диффузного отражения светорассеивающих веществ.

Спектрофотометры СФ-10, СФ-14, СФ-18 являются объективными регистрирующими приборами, позволяющими измерять коэффициенты пропускания, оптическую плотность и коэффициенты отражения в пределах видимого участка спектра. Измерение производится в автоматическом режиме, в результате чего на бланке записывается соответствующая кривая.

Спектрофотометр состоит из двух основных частей – спектральной и фотометрической.

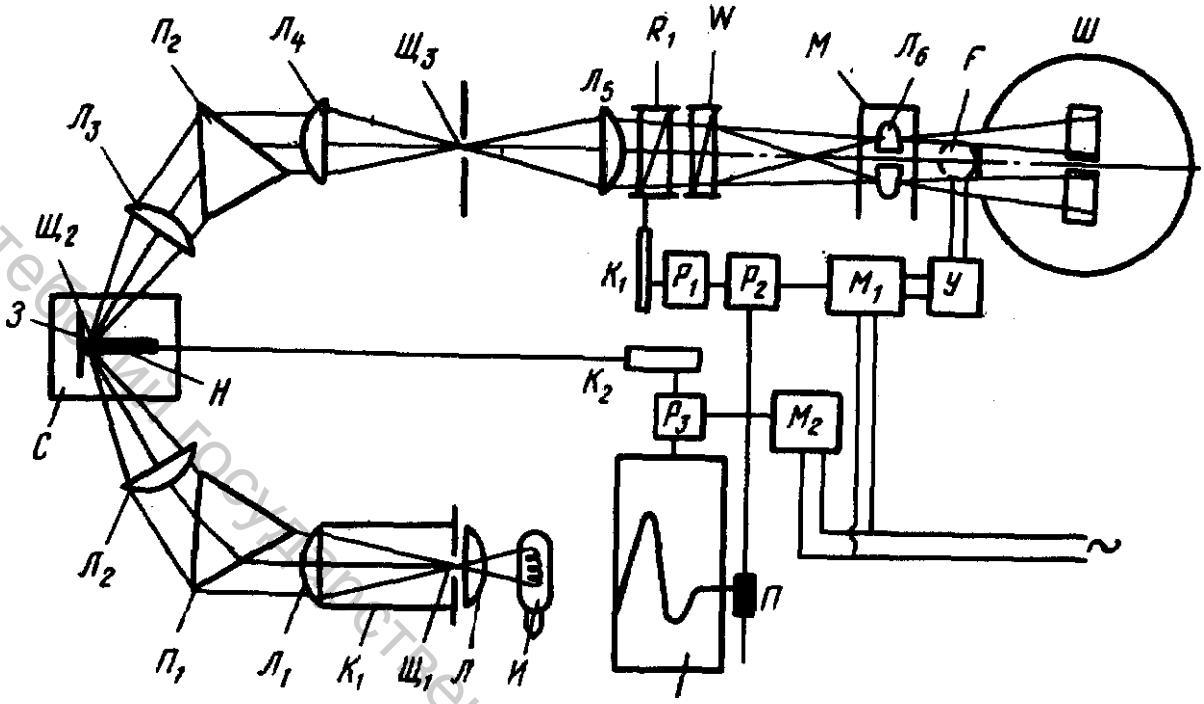
В спектральной части прибора происходит разложение белого света на спектральные монохроматические лучи, а в фотометрической – измерение коэффициентов отражения или пропускания монохроматических лучей от исследуемого образца или раствора, а также оптической плотности.

Схема спектрофотометра СФ-14 представлена на рис.12.

Принцип действия прибора следующий. Излучение источника света И собирается с помощью конденсорной линзы Л на входную щель $Щ_1$ коллиматора $К_1$. Из линзы $Л_1$ выходит пучок параллельных лучей, который,

Витебский государственный технологический университет

пройдя призму $П_1$, разлагается на монохроматические лучи. Эти лучи, пройдя линзу $Л_2$, образуют в ее фокальной плоскости спектр.



6

Рис. 12. Схема автоматического спектрофотометра СФ-14

Выходная щель $Щ_2$ располагается в фокальной плоскости объектива $Л_2$ и выделяет из спектра узкую полоску монохроматического излучения. Щель $Щ_2$ образована зеркалом З и ножом Н, которые монтируются на передвижном столике С. Благодаря передвижению щели $Щ_2$ обеспечивается выделение из спектра монохроматических лучей с длиной волны от 400 до 700нм.

Для получения более чистых монохроматических лучей с помощью линзы $Л_3$ и $Л_4$, призмы $П_2$ и щели $Щ_3$ производится повторная монохроматизация выделенного участка спектра.

По выходе из монохроматора пучок света вступает во вторую (фотометрическую) часть прибора. Пучок монохроматического света проходит через линзу $Л_5$, затем призму Рошона R_1. Призма Рошона R_1 разделяет монохроматический пучок на два плоскополяризованных пучка, один из которых отклоняется в сторону и поглощается стенками прибора, а второй проходит через призму R_1 и падает на призму Волластона W. Плоскость поляризации пучка лучей призмой R_1 меняется при повороте этой призмы вокруг оптической оси.

Призма W разлагает поляризованный свет на два пучка, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и отклоняющихся на небольшой угол. Затем эти пучки проходят через полулинзы $Л_6$, установленные внутри модулятора М, отклоняются призмами $П_3$ вниз на угол 90° и падают на

Витебский государственный технологический университет

измеряемый образец и белую эталонную пластинку. Отразившись от них, пучки света падают на внутреннюю поверхность интегрирующего шара Ш и после многократного отражения внутри него попадают через выходное окно в боковой части шара на фотоэлемент, вызывая в нем фототок.

Конструкция модулятора и скорость его вращения выбраны таким образом, что световой поток прерывается с частотой 50Гц. Пучки света, попадающие на линзы $Л_6$, поочередно перекрываются вращающимся модулятором так, что интенсивность света в каждом пучке изменяется по трапецеидальной форме и началу открытия одного пучка соответствует начало закрытия другого.

Если интенсивность обоих пучков света, попеременно падающих на фотоэлемент, одинакова, освещение фотоэлемента F будет постоянным. Если же измеряемый образец поглощает энергию одного из пучков, фотоэлемент будет воспринимать мерцание с частотой, соответствующей скорости вращения модулятора. Переменная составляющая фототока усиливается усилителем У и подается на ротор реверсивного мотора $М_1$, вызывая его вращение. С помощью редуктора $Р_1$ и кулачка $К_1$ вращение реверсивного мотора вызывает поворот призмы R_1. С поворотом этой призмы изменяется интенсивность световых потоков, падающих на эталон и образец. Реверсивный мотор вращается до тех пор, пока вызванное его вращением изменение положения призмы R_1 не уничтожит переменную составляющую освещенности фотоэлемента. Такое состояние наступает тогда, когда разность потоков света, отраженных от образца и эталона, становится равной нулю. С помощью другого редуктора $Р_2$ вращение мотора $М_1$ передается на перо П, перемещающееся вдоль барабана Б. Положение призмы и пера в момент компенсации однозначно определяется отношением отраженных световых потоков и является мерой этого отношения, а на бланке, закрепленном на барабане Б, регистрируется значение коэффициента отражения образца при выделенной длине волны.

С помощью редуктора $Р_3$ и кулачка $К_2$ мотор $М_2$ перемещает среднюю щель $Щ_2$, изменяя длину волны света, выходящего из монохроматора. В фотометрической части прибора происходит измерение коэффициента отражения при новой длине волны. При этом барабан Б поворачивается вокруг своей оси и передвигает закрепленный на нем бланк так, что положение пера на шкале длин волн всегда соответствует длине волны, пропускаемой монохроматором. Таким образом, на бланке автоматически записывается кривая спектрального отражения. В отличие от спектрофотометра СФ-14 в спектрофотометре СФ-18 для повышения точности измерения темных образцов предусмотрена растяжка на всю шкалу четырех участков шкалы коэффициентов пропускания и отражения, а также шкалы оптической плотности. Спектрофотометр СФ-26 относится к числу не регистрирующих приборов, предназначенных для измерения только коэффициента пропускания жидких и твердых веществ в области спектра 186 – 1100 нм. На основе спектрофотометров созданы приборы, производящие непосредственное

Витебский государственный технологический университет

определение для измеряемых растворов и образцов характеристик цвета в системе МКО. Такие приборы получили название спектроколориметров. Они включают оптическую часть спектрофотометров и микроЭВМ. Одновременно с измерением спектральных коэффициентов пропускания или отражения в оптической части прибора с помощью микроЭВМ в автоматическом режиме производится расчет координат цвета и цветности измеряемых образцов. К числу таких приборов относятся спектроколориметры "Радуга-2" (СССР), ДМС-25 и ДМС-26 фирмы "Оптон" (ФРГ), СС-1 фирмы "Тосиба" (Япония). Спектроколориметр "Радуга-2" предназначен для измерения коэффициентов отражения и пропускания образцов при 26 длинах волн (через интервалы в 13 нм) в видимой области спектра и для определения координат цвета и цветности при источниках света А, С, Д в системе XYZ. Прибор позволяет также определять колориметрические показатели: цветовой тон, насыщенность, светлоту и общее цветовое различие в системе CIEL*a*b*. Принцип действия прибора основан на измерении коэффициентов отражения или пропускания измеряемых образцов при 26 длинах волн с последующей обработкой результатов измерений по специальным программам с помощью микроЭВМ.

Принципиальная оптическая схема прибора "Радуга-2" приведена на рис.13.

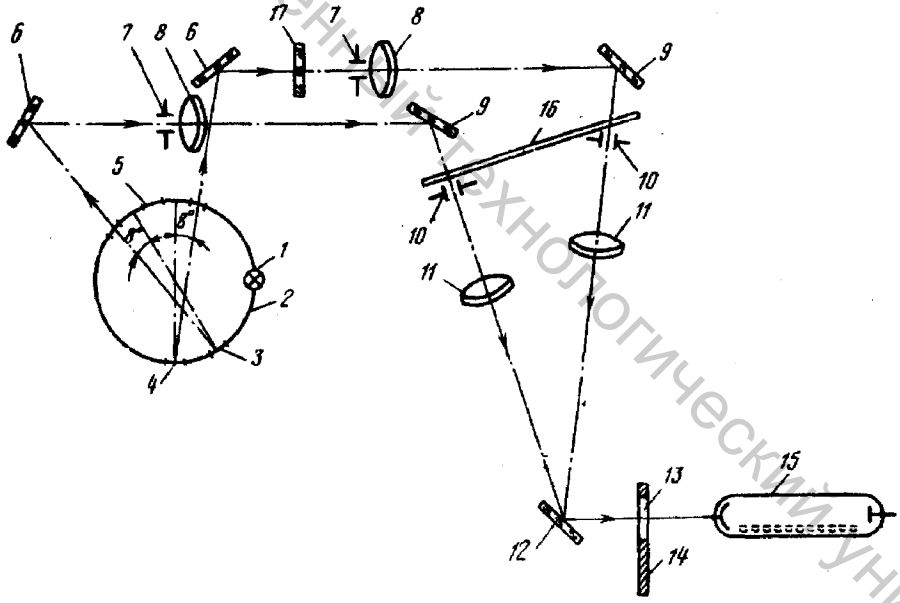


Рис. 13. Принципиальная оптическая схема прибора “Радуга-2”

Световой поток от источника света 1, помещенного в фотометрическом шаре 2, попадает на белый эталон 3 и измеряемый образец 4. Конструкция фотометрического шара обеспечивает освещение образца и эталона рассеянным светом и наблюдение под углом 8° и позволяет исключать или учитывать зеркальную составляющую при помощи специальной заглушки 5. Световые потоки, отраженные от образца и эталона под углом 8° к нормали, с помощью зеркал 6 направляются на диафрагмы 7, проходят через объективы 8,

Витебский государственный технологический университет

отражаются от зеркал 9 и проходят через диафрагмы 10 и объективы 11. После отражения от зеркала 12 из световых потоков с помощью последовательно включаемых интерференционных светофильтров 13, находящихся в диске 14, выделяются монохроматические излучения, которые затем попадают на катод фотоэлектронного умножителя 15. Дисковый прерыватель 16, приводимый во вращение, от синхронного электродвигателя, обеспечивает поочередное пропускание светового потока от эталона (опорный канал) и образца (измерительный канал), а также перекрывание их (темновой канал) при каждом из светофильтров. Фотоэлектронный умножитель преобразует световые потоки в электрические импульсы, которые после усиления операционным усилителем поступают в измерительный блок. В измерительном блоке выделяются и сглаживаются сигналы постоянного тока, полученные на опорном, измерительном и темновом каналах. Сглаженные сигналы последовательно поступают в цифровой вольтметр-преобразователь, аналог-код, а затем в микроЭВМ, где на основе заложенных в нее программ осуществляется расчет коэффициентов отражения (или пропускания) и характеристик цвета. Прозрачные образцы при измерении устанавливают в держатель 17, при этом вместо образца 4 ставят белый эталон.

Осуществляемый микроЭВМ расчет коэффициентов отражения (или пропускания) на каждом из 26 светофильтров производится на основе формулы

$$\rho_i = N_i\,(\rho_{бi} - \rho_{чi}) / (N_{бi} - N_{чi}) + (N_{бi}\,\rho_{чi} - N_{чi}\,\rho_{бi}) / (N_{бi} - N_{чi}),$$

$$N_i = (N_{ии} - N_{тi}) / (N_{оi} - N_{тi}),$$

где $\rho_{бi}$, $\rho_{чi}$ — коэффициенты отражения (пропускания) соответственно эталонов белой и черной поверхностей; $N_{бi}$ - $N_{чi}$ – показания цифрового вольтметра при измерении соответственно эталонов белой и черной поверхностей; $N_{ии}$, $N_{оi}$, $N_{тi}$ – показания цифрового вольтметра, вводимые в микроЭВМ, соответственно на измерительном, опорном и темновом каналах.

КОЛОРИМЕТРЫ

Колориметры подразделяются на визуальные и фотоэлектрические. Измерение цвета в визуальных колориметрах сводится к уравниванию цвета двух половин видимого в окуляре поля зрения. Цвет одной половины поля зрения соответствует цвету измеряемого образца, а другой – цвету, получаемому в приборе.

В аддитивных колориметрах цвет, аналогичный измеряемому, получается или смешением нескольких разноцветных излучений, или смешением пучка белого света с различными монохроматическими излучениями.

В субтрактивных колориметрах подбор цвета, соответствующего измеряемому образцу, осуществляется пропусканием потока белого света через три светофильтра.

Витебский государственный технологический университет

Колориметр ГОИ. Измерение цвета на колориметре ГОИ системы Л.И. Демкиной производится установлением тождества между цветом измеряемого образца и цветом оптической смеси трех цветных лучей (красного, зеленого, синего), получаемых в приборе при пропускании пучка белого света через три светофильтра. Установление тождества по цвету осуществляется за счет изменения интенсивностей трех смешиваемых цветных лучей. В результате измерения находятся координаты цвета образца в системе трех цветов (К,З,С), используемых в приборе. По этим значениям затем рассчитываются координаты цвета в международной системе. Пучок света от осветителя 1 (рис. 14) попадает на диск 2, в котором расположены три светофильтра красного, зеленого и синего цветов. Образовавшиеся цветные лучи проходят линзу 3 и фокусируются на белой пластинке 4, где происходит их оптическое смешение. Интенсивность трех цветных лучей регулируется с помощью заслонок, расположенных на каждом из светофильтров. Изменение интенсивности этих лучей обеспечивает возможность получения разнообразных цветов. Отразившись от пластинки 4, лучи света попадают в фотометрический куб 5, а оттуда в окуляр 6, освещая одну половину его поля зрения. Измеряемый образец 7 устанавливается в окне коробки 8 и прижимается к нему заслонкой. Освещение образца 7 производится с помощью лампы накаливания 9, излучение которой соответствует источнику света А. Для получения излучения, соответствующего стандартным источникам В и С, в коробку устанавливаются соответствующие корригирующие светофильтры 10.

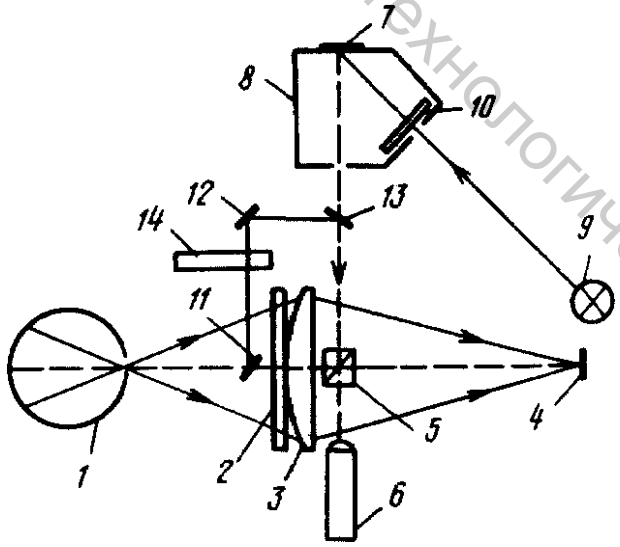


Рис. 14. Схема трехцветного колориметра ГОИ системы Л.И. Демкиной

Освещение образца производится под углом 45°, а наблюдение ведется по нормали, что соответствует международным условиям проведения цветовых измерений светорассеивающих образцов. Изменение интенсивности освещения образца достигается передвижением лампы накаливания 9 вдоль оптической

Витебский государственный технологический университет

скамьи. Отраженный от образца пучок света проходит через фотометрический куб 5 и попадает в окуляр, освещая другую половину его поля зрения. Измерение цвета образца сводится к установлению цветового тождества двух полуполей прибора, достигаемого с помощью заслонок, регулирующих интенсивность трех цветных лучей. Величины открытия заслонок соответствуют значениям координат цвета образца в системе КЗС (в системе трех цветов, используемых в приборе).

При измерении цвета прозрачного образца его устанавливают в соответствующем месте коробки, а вместо образца 7 ставится белая пластинка.

Если измеряемый образец обладает очень высокой чистотой цвета и получить аналогичный цвет на втором полуполе прибора не удается, то применяют "разбавительную систему", состоящую из двух зеркал 11 и 12, прозрачной пластинки 13 и диска со светофильтрами 14. Первое зеркало 11 отражает часть белого света от осветителя 1 и направляет его на зеркало 12. В ход луча, идущего от зеркала 11 к зеркалу 12, вводится один из светофильтров 14, имеющий цвет, дополнительный к измеряемому. От зеркала 12 цветовой луч попадает на пластинку 13, где он смешивается со световым потоком, идущим от измеряемого образца. В результате чистота цвета, наблюдаемого на первом полуполе прибора, снижается и изменением интенсивности трех цветовых потоков добиваются установления аналогичного цвета на втором полуполе прибора. Затем дополнительно проводят измерение "разбавляющего цвета", для чего вместо измеряемого образца устанавливают белую пластинку; в пучок света от зеркала 11 вводят использованный разбавляющий светофильтр и устанавливают цветовое тождество двух полуполей прибора. Полученные по шкалам прибора значения вычитаются из первоначальных.

Переход от координат цвета в системе КЗС к международной системе осуществляется с помощью формул

$$\bar{x} = а\bar{x}_к + б\bar{x}_з + в\bar{x}_с;$$
$$\bar{y} = а\bar{y}_к + б\bar{y}_з + в\bar{y}_с;$$
$$\bar{z} = а\bar{z}_к + б\bar{z}_з + в\bar{z}_с,$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ – координаты цвета измеряемого образца в системе МКО; $\bar{x}_к$, $\bar{x}_з$, $\bar{x}_с$, $\bar{y}_к$, $\bar{y}_з$, $\bar{y}_с$, $\bar{z}_к$, $\bar{z}_з$, $\bar{z}_с$ – координаты цвета красного, зеленого и синего светофильтров (приводятся в паспорте прибора); а, б, в – координаты цвета измеряемого образца в системе КЗС.

Фотоэлектрические колориметры. Измерение цвета с помощью фотоэлектрических колориметров основано на том, что излучение освещающего источника света, отраженное от измеряемого образца (или пропущенное через него), воспринимается тремя фотоэлектрическими приемниками, величины фототоков которых пропорциональны координатам цвета образца. В колориметрах последних конструкций вместо трех используется один фотоэлемент, перед которым при измерении последовательно устанавливаются три специальных светофильтра.

Витебский государственный технологический университет

Принципиальная оптическая схема фотоэлектрического колориметра приведена на рис. 15.

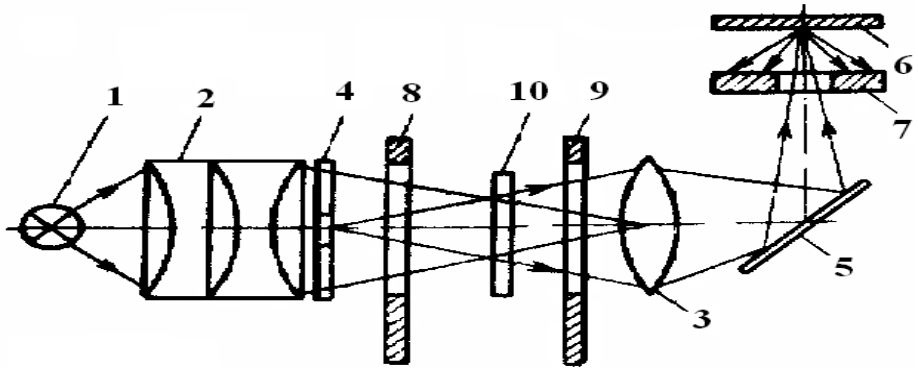


Рис. 15. Оптическая схема фотоэлектрического колориметра

Излучение лампы 1 собирается конденсором 2, который дает изображение тела накала лампы в плоскости объектива 3. За линзами конденсора расположена диафрагма 4 с переменным раскрытием. Объектив 3 с помощью плоского зеркала 5 дает изображение этой диафрагмы на поверхности измеряемого образца 6. Между конденсором и объективом помещены два поворотных диска 8 и 9. Диск 8 снабжен набором нейтральных ослабителей (сеток), позволяющих менять освещенность измеряемого образца. В диске 9 расположены корригирующие светофильтры, приводящие спектральную чувствительность фотоэлемента к кривым $\bar{x}_н(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, а также синий и красный светофильтры, используемые для контроля цветовой температуры лампы осветителя. Между дисками 8 и 9 расположена кассета для измеряемых прозрачных образцов 10. Излучение от лампы 1, пройдя через диафрагму 4, нейтральные и корригирующие светофильтры и с помощью объектива 3 и зеркала 5 через отверстие в кольцевом фотоэлементе 7 попадает на измеряемый образец. Отраженное от поверхности образца излучение воспринимается кольцевым фотоэлементом 7. Измерение цвета проводят последовательным введением в световой пучок каждого из корригирующих светофильтров. Возникающие при этом фототоки i_x, i_y, i_z пропорциональны координатам цвета образца $i_x \sim \bar{x}_н$, $i_y \sim \bar{y}$, $i_z \sim \bar{z}$.

Благодаря соответствующей градуировке миллиамперметра, значения координат цвета отсчитывают непосредственно по шкале этого прибора.

С учетом зависимости (5) координату цвета $\bar{x}$ рассчитывают по формуле

$$\bar{x} = 1{,}2\,\bar{x}_н - 0{,}4\,\bar{y} + 0{,}2\,\bar{z}.$$

Точность работы фотоэлектрических колориметров определяется точностью воспроизведения кривых сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ и точностью воспроизведения стандартных источников света. Кроме того, к числу

Витебский государственный технологический университет

источников систематических ошибок относятся нелинейность связи фототока с освещенностью и нелинейность компенсационной схемы. В силу этого измерение цветовых характеристик на колориметрах является менее точным по сравнению с методом расчета их по спектрофотометрическим кривым.

Погрешность в определении координат цветности фотоэлектрическими колориметрами составляет несколько единиц в третьем знаке

$$dx = dy = 0{,}003 - 0{,}008.$$

АТЛАСЫ ЦВЕТОВ

Атлас цветов представляет собой набор цветовых образцов, расположенных по определенной системе, в котором каждый образец обозначен тремя величинами, характеризующими его цвет. Атласы цветов появились в то время, когда еще не существовало Международной колориметрической системы и цветоизмерительных приборов, поэтому они выполняли роль визуального цветоизмерительного инструмента. Методика характеристики цвета с помощью атласа очень проста. Она состоит в том, что непосредственным визуальным сравнением цвета измеряемого образца с образцами атласа наблюдатель устанавливает ближайший по цвету образец или указывает "вилку" соседних цветов и, используя обозначения цветов в атласе, характеризует измеряемый цвет. В связи с простотой метода атласы цветов не потеряли своего значения до настоящего времени. Наиболее широкое распространение получили атласы Манселла и Рихтера. Атлас Манселла состоит из ряда таблиц, каждая из которых содержит образцы одинакового цветового тона с различной светлотой и насыщенностью. Насыщенность по Манселлу характеризует степень отклонения данного цвета от ахроматического, равнозначного ему по светлоте. Выражается насыщенность числом, показывающим количество произвольных по величине визуальных ступеней между хроматическим и ахроматическим цветами, одинаковыми по светлоте. Градации по светлоте и насыщенности в атласе выбраны с таким расчетом, чтобы визуальные различия между расположенными рядом цветами как по светлоте и насыщенности, так и по цветовому тону были одинаковыми. Атлас Манселла последнего выпуска содержит 100 таблиц. В таблицах всех цветовых тонов слева имеется общая ось – ось ахроматических цветов, на которой находятся цвета разных светлот и "нулевой" насыщенности. В атласе десять ступеней светлоты (нулевая ступень соответствует черному цвету, а десятая — белому). Номера ступеней называются числами Манселла. Каждая ступень имеет определенный коэффициент отражения, равный одной десятой номера ступени в квадрате. В горизонтальных рядах каждой таблицы справа от ахроматической оси находятся цвета, постоянные по светлоте, но отличающиеся по насыщенности, а в вертикальных рядах – цвета, отличающиеся по светлоте, но одинаковые по насыщенности. Насыщенность

Витебский государственный технологический университет

представленных в атласе цветов увеличивается через две ступени и изменяется от 0 до 10.

Каждый образец в атласе обозначен тремя символами: первый (буквенный) указывает цветовой тон по Манселлу; второй и третий (цифровые) показывают соответственно ступени светлоты и насыщенности. Запись показателей измеряемого цвета производится в такой последовательности: номер таблицы, в которой находится данный цвет; цветовой тон; ступень по светлоте; ступень по насыщенности. Например, запись 3R 5/6 означает, что цвет является красным, соответствует 5-й ступени по светлоте и 6-й ступени по насыщенности.

В атласе Рихтера каждый цвет характеризуется цветовым тоном, насыщенностью (S) и степенью темноты (D) по системе DIN.

Степень темноты образцов атласа по DIN определяется логарифмической зависимостью от относительной светлоты h, равной

$$h = L/L_0,$$

где L – светлота образца, а L_0 – светлота образца с оптимальным спектром отражения, имеющего тот же цветовой тон и чистоту, что и образец. Оптимальными спектрами отражения являются такие, для которых характерно скачкообразное изменение спектрального коэффициента отражения от 0 до 100%, причем количество таких переходов в пределах видимой зоны спектра равно двум (рис. 16).

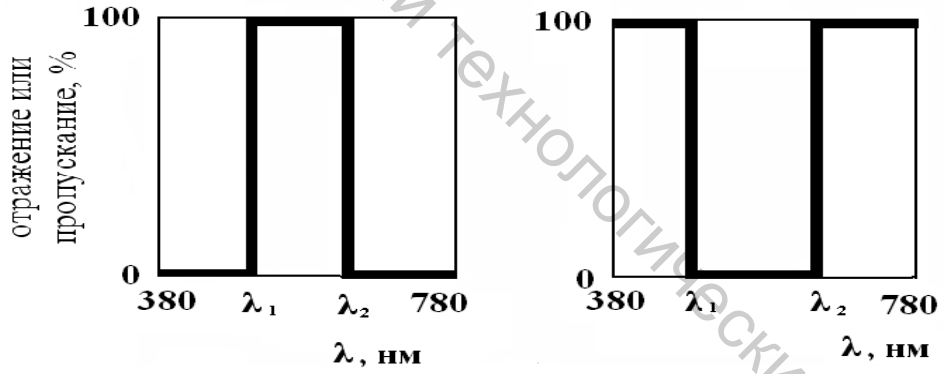


Рис. 16. Два вида оптимальных спектрофотометрических кривых (изменение длин волн λ_1 и λ_2 в пределах 380 — 780 нм приводит к получению оптимальных спектров для всевозможных цветов)

В атласе Рихтера содержится 24 листа с образцами различного цветового тона, причем цветные образцы каждого листа имеют строго постоянный, цветовой тон. На листе образцы располагаются от светлых в верхней части до темных в нижней части листа с равным интервалом по степени темноты (D изменяется от 1 до 8). Цвет образцов меняется от близких к ахроматическим в левой части каждого листа до насыщенных в правой части с равным интервалом по насыщенности.

Витебский государственный технологический университет

Для каждого образца наряду с обозначениями в системе DIN приведены характеристики x, y, z в системе МКО относительно стандартного источника света С. Кроме того, приведены значения цветового тона и чистоты по системе МКО, а также обозначения по системе Манселла.

Атласы цветов АЦ-450 и АЦ-1000, включающие 450 и 1000 стандартных образцов цвета, совмещают в себе функции как измерительного средства, так и образцовой цветовой меры. Как измерительное средство атлас используется для оценки координат цвета тех или иных объектов путем их непосредственного визуального сравнения по цвету с образцами атласа. Как образцовая цветовая мера он применяется вместе с фотоэлектрическим компаратором цвета для точного числового выражения координат цвета испытуемых образцов.

Атлас АЦ-1000 состоит из 39 шкал опорных цветов, расположенных в порядке спектрального чередования цветов от красных к синим до пурпурных, и таблиц-карт. Каждая шкала опорных цветов содержит от четырех до семи образцов, окраска которых получена смешением цветного пигмента с черным или белым пигментом. В таблицах-картах представлены цвета, иллюстрирующие различные степени разбеливания и затемнения основных пигментов. Они являются тройными смесями цветных пигментов с белым и черным. Между соседними цветами в атласе соблюдаются приблизительно одинаковые визуальные интервалы. Атлас снабжен аттестатом, в котором содержатся координаты цвета каждого образца в системе МКО относительно источников света А, В и С.

Тема 2. КОЛОРИМЕТРИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МКО

Международная колориметрическая система МКО предусматривает возможность выражения цвета тремя координатами цвета или двумя координатами цветности и светлотой. Кроме того, цвет можно выразить цветовым тоном, чистотой и светлотой.

Координаты цвета, а также координаты цветности находятся расчетным путем на основе спектрофотометрических характеристик цветных тел или с помощью цветоизмерительных приборов. Определение цветового тона и чистоты производится на основе значений координат цвета по специальной диаграмме, называемой ***цветовым графиком*** МКО.

ОСНОВНЫЕ И ЕДИНИЧНЫЕ ЦВЕТА, КООРДИНАТЫ ЦВЕТА И ЦВЕТНОСТИ, КРИВЫЕ СЛОЖЕНИЯ

Витебский государственный технологический университет

Международная колориметрическая система базируется на первом законе оптического смешения цветов, согласно которому любой цвет может быть выражен через три линейно независимых цвета.

Координаты цвета – количества трех линейно независимых цветов, оптическое смешение которых обеспечивает получение данного цвета. Резолюцией МКО в качестве трех линейно независимых цветов приняты следующие монохроматические излучения: красный R (λ = 700 нм); зеленый G (λ = 546,1нм); синий B (λ = 435,8нм). Цвета этих излучений носят название ***основных цветов***. Каждое принятое монохроматическое излучение имеет определенную мощность в единицах световой энергии. Мощность излучения R составляет 1 лм (люмен), излучения G – 4,6лм, излучения B – 0,06лм. Излучения R, G, B указанной мощности называются ***единичными цветами*** или единичными стимулами. При оптическом смешении этих излучений в таких количествах получается белый цвет.

Таким образом, координаты цвета в системе R, G, B – это такие количества единичных цветов R, G, B (обозначаемые как $\bar{r}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$), при оптическом смешении которых получается цвет, тождественный в визуальном отношении данному. Сумма координат цвета называется ***модулем*** (m), а отношение координат цвета к модулю – ***координатами цветности***, или ***трехцветными коэффициентами***:

$$\bar{r} + \bar{g} + \bar{b} = m, \tag{6}$$

$$r = \bar{r}/m; \quad g = \bar{g}/m; \quad b = \bar{b}/m. \tag{7}$$

Модуль характеризует цвет с количественной стороны, а координаты цветности – с качественной. В этом легко убедиться на следующем примере. Представим себе два цвета, у одного из которых каждая координата цвета в два раза больше, чем у другого. Цвет, у которого координаты в два раза выше, может быть представлен как суммарный цвет, состоящий из двух цветов, имеющих в два раза меньшие координаты. От сложения двух таких одинаковых цветов их цветовой тон и чистота не изменятся, а только увеличится в два раза яркость результирующего цвета. Следовательно, цвет, имеющий в два раза больший модуль, обладает в два раза большей яркостью, в то время как цветность его (т.е. его качество) остается неизменной. Качество цвета изменяется только при непропорциональном изменении координат цвета, т.е. при изменении координат цветности.

Единичные цвета R, G, B, послужившие в качестве базовых при проведении экспериментов в процессе разработки системы, при последующем ее совершенствовании были заменены тремя нереальными цветами X, Y, Z.

В результате перехода к новым основным цветам любой цвет стали выражать через количества цветов X, Y, Z, сумма которых обеспечивает получение данного цвета. Эти количества цветов X, Y, Z (обозначаемые как $\bar{x}$,

Витебский государственный технологический университет

$\bar{y}$, $\bar{z}$) носят название ***координат цвета*** в системе XYZ. В этой системе модуль цвета (m) и координаты цветности x, y, z соответственно равны

$$\bar{x} + \bar{y} + \bar{z} = m, \quad (8)$$

$$x = \bar{x}/m;\ y = \bar{y}/m;\ z = \bar{z}/m. \quad (9)$$

Замена реальных излучений R, G, B тремя реально не воспроизводимыми цветами привела к тому, что координаты цвета для любых цветов стали выражаться только положительными величинами, а определение одной из характеристик цвета, а именно яркости цвета, значительно упростилось.

В общем виде в системе XYZ цвет любого излучения F выражается уравнением

$$F = \bar{x}X + \bar{y}Y + \bar{z}Z. \quad (10)$$

Координаты цвета рассчитывают по следующим формулам:

$$\bar{x} = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda;\quad \bar{y} = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda;\quad \bar{z} = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda, \quad (11)$$

где $\Phi(\lambda)$ – мощность монохроматических лучей в световом потоке, идущем от светящегося или несветящегося тела; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – значения координат цвета монохроматических излучений постоянной мощности от 380 до 780 нм в системе XYZ (стандартные величины).

Формулы (11) позволяют вычислить координаты цвета светящихся тел, а также непрозрачных и прозрачных несветящихся тел. Однако при характеристике цвета несветящихся тел нет надобности производить измерение состава отраженного или пропущенного ими света. Определение цвета таких тел принято проводить при стандартных источниках света, $\Phi(\lambda)$ в этом случае равно для непрозрачных предметов $\Phi_w(\lambda)\rho(\lambda)$, для прозрачных – $\Phi_w(\lambda)\tau(\lambda)$, где $\Phi_w(\lambda)$ – мощность монохроматических лучей в спектре стандартного источника света; $\rho(\lambda)$ и $\tau(\lambda)$ – спектральные коэффициенты отражения и пропускания монохроматических лучей. Формулы для расчета координат цвета непрозрачных тел приобретают следующий вид:

$$\bar{x} = \int_{380}^{780} \Phi w(\lambda)\rho(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda;\ \bar{y} = \int_{380}^{780} \Phi w(\lambda)\rho(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda;\ \bar{z} = \int_{380}^{780} \Phi w(\lambda)\rho(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \quad (12)$$

При расчете координат цвета прозрачных тел или растворов $\rho(\lambda)$ в формулах (12) заменяется спектральным коэффициентом пропускания $\tau(\lambda)$.

Координаты цвета любого сложного по составу излучения можно определить исходя из того, что каждая координата цвета излучения равна сумме соответствующих координат цвета составляющих его монохроматических излучений. Координаты цвета этих излучений в свою очередь могут быть рассчитаны как произведения координат цвета монохроматических излучений, имеющих мощность, равную единице, на мощность излучений, значения которых находятся по спектру излучения. Координаты цвета

Витебский государственный технологический университет

монохроматических излучений единичной мощности были рассчитаны на основе данных, полученных В. Райтом и Ж. Гилдом.

Оптическая схема установки, использованной Райтом, представлена на рис. 17.

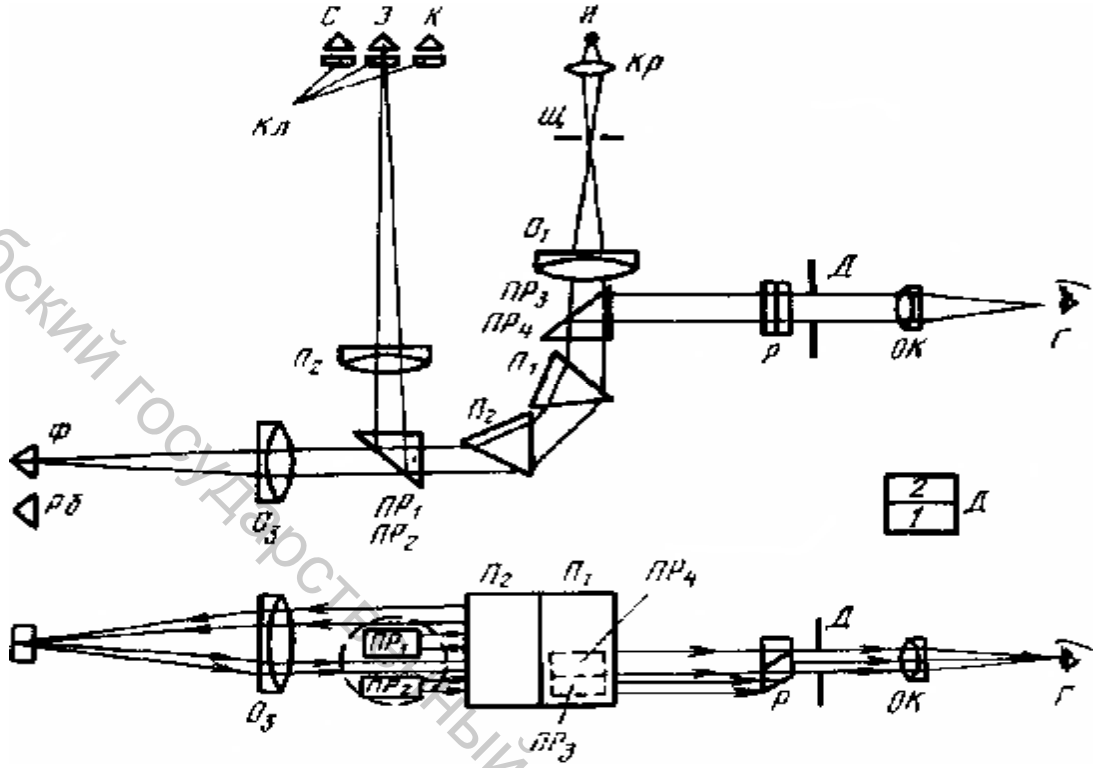


Рис. 17. Оптическая схема установки Райта для измерения цвета спектральных монохроматических излучений

В качестве основных цветов были взяты монохроматические излучения с длинами волн 650, 530, 460 нм. Источник света И, которым служил шарик вольфрама, освещал с помощью конденсора $К_р$ входную щель Щ спектрального прибора. Объектив $О_1$ посылал параллельный пучок света на две расположенные друг за другом спектральные 60-градусные призмы $П_1$ и $П_2$, которые разлагали проходящий через них свет в спектр. Призма $ПР_1$ полного внутреннего отражения, помещенная в пучок света после спектральных призм $П_1$ и $П_2$, отклоняла часть лучей на объектив $О_2$, в фокальной плоскости которого образовывался сплошной спектр источника И. В плоскости спектра располагались три прямоугольные призмы К, З, С, возвращавшие обратно падающие на них лучи спектра. Прямоугольное ребро призмы К совмещалось в спектре с красным излучением (λ = 650нм), ребро призмы З – с зеленым излучением (λ = 530нм), ребро призмы С – с синим излучением (λ = 460нм). Пройдя через объектив $О_2$, отраженные лучи красного, зеленого и синего цвета с помощью призмы полного внутреннего отражения $ПР_2$, подобной призме $ПР_1$, но расположенной несколько ниже (см. нижнюю часть рис. 17, где показан ход

Витебский государственный технологический университет

лучей в вертикальной плоскости), направлялись снова через спектральные призмы $П_1$ и $П_2$.

После второго прохождения через призмы $П_1$ и $П_2$ лучи света с длинами волн 650, 530 и 460нм делались снова параллельными друг другу. Отразившись от плоских граней в призме $ПР_3$ и специальной фотометрической призме Р, параллельные лучи соединялись в фокальной плоскости окулярной линзы ОК. Выходной зрачок прибора, представляющий собой вертикальную щель, помещенную в фокусе линзы ОК, выделяет узкую часть каждой из трех наложенных друг на друга спектральных полос. Мощности каждого из трех излучений, проходящих через выходной зрачок и попадающих в глаз наблюдателя, могут изменяться независимо друг от друга путем передвижения поглощающих свет клиньев Кл, расположенных перед призмами К, З, С, что влечет за собой изменение цвета одной нижней половины поля зрения, обозначенной на рис.17 цифрой 1. Излучения, выделяемые призмами К, З, С, являются в данном случае основными, а их цвета – основными цветами прибора. В передней фокальной плоскости окулярной линзы помещалась диафрагма Д поля зрения, имевшая форму квадрата, сторона которого видна наблюдателю под углом в 2°. Яркость поля зрения соответствовала в среднем от 20 до 10^4 кд/м^2, т.е. в основном не опускалась ниже предела, обеспечивающего нормальную работу колбочкового аппарата глаза.

Пучок света, заполняющий другую (верхнюю) часть поля зрения, обозначенную на рисунке цифрой 2, также берет свое начало в источнике И, проходит через коллиматорный объектив $О_1$, затем призмы $П_1$ и $П_2$ и, минуя призму $ПР_1$, попадает на объектив $О_3$, в фокальной плоскости которого образует другой спектр того же источника И. Две прямоугольные призмы Ф и Рб отражают два пучка света обратно в $О_3$, обернув их одновременно около вершины прямого угла и отклонив несколько вниз. Пройдя между призмами $ПР_1$ и $ПР_2$ (см. нижнюю часть рис. 17), через спектральные призмы $П_1$ и $П_2$ и отразившись от гипотенузной грани призмы $ПР_4$, пучки света от Ф и Рб заполняют верхнюю часть диафрагмы Д поля зрения (глаз Г наблюдателя видит квадратное отверстие диафрагмы Д разделенным на две части). Перемещая призмы Ф и Рб в плоскости второго спектра, можно изменять длины волн пучков света, попадающих в выходной зрачок прибора.

Призма Ф направляет в глаз монохроматическое излучение исследуемой длины волны. Поскольку цвет чистого монохроматического излучения не может быть воспроизведен смешением трех основных излучений, для установления цветового тождества на обеих половинах поля зрения к исследуемому монохроматическому излучению, отраженному от призмы Ф, добавляется одно из трех основных излучений, которое "разбавляет" насыщенный цвет и вместе с ним дает смесь, цвет которой может быть воспроизведен смесью основных излучений. Для разбавления насыщенного цвета служит призма Рб, прямоугольное ребро которой совмещается во втором спектре с длиной волны разбавляющего излучения. На одну часть диафрагмы Д проецировались

Витебским государственным технологическим университетом

монохроматические излучения всех длин волн, а на другую — три монохроматических излучения, соответствующие основным цветам. Путем изменения мощности этих трех основных излучений устанавливалось тождество по цвету между измеряемым монохроматическим излучением и оптической смесью основных излучений. Мощность основных излучений при этом фиксировалась, а затем рассчитывалась доля каждого основного цвета в их смеси. Эти доли и являются ***координатами цветности монохроматических излучений*** в системе выбранных цветов.

Для расчета координат цветности сначала составляется цветовое уравнение. Например, при использовании для целей разбавления излучения красного цвета (λ = 650 нм) после установления цветового тождества на обеих половинах поля зрения оно будет иметь следующий вид:

$$F(\lambda) + \bar{r}_1(\lambda)R = \bar{r}(\lambda)R + \bar{g}(\lambda)G + \bar{b}(\lambda)B,$$

где F(λ) — измеряемый монохроматический цвет; $\bar{r}_1(\lambda)$ – мощность излучения разбавляющего цвета; $\bar{r}(\lambda)$; $\bar{g}(\lambda)$; $\bar{b}(\lambda)$ – мощности излучения основных цветов R , G , B , или $F(\lambda) = [\bar{r}(\lambda) - \bar{r}_1(\lambda)]R + \bar{g}(\lambda)G + \bar{b}(\lambda)B$, где коэффициент при R обязательно будет отрицательным.

Если разбавляющее излучение имеет длину волны 530нм, отрицательным окажется коэффициент при G, если 460 нм – коэффициент при B.

Координаты цветности рассчитываются по формулам

$$r(\lambda) = \frac{\bar{r}(\lambda) - \bar{r}_1(\lambda)}{[\bar{r}(\lambda) - \bar{r}_1(\lambda)] + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda)}; \qquad g(\lambda) = \frac{\bar{g}(\lambda)}{[\bar{r}(\lambda) - \bar{r}_1(\lambda)] + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda)};$$

$$b(\lambda) = \frac{\bar{b}(\lambda)}{[\bar{r}(\lambda) - \bar{r}_1(\lambda)] + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda)}.$$

Поскольку Международной комиссией по освещению в качестве основных были приняты монохроматические излучения с длиной волны 700; 546,1; 435,8нм, полученные Райтом и Гилдом значения координат цветности были пересчитаны в систему этих основных цветов. Полученные значения координат цветности являются одновременно координатами цвета единичных монохроматических излучений. В результате деления этих координат цвета на мощность единичных монохроматических излучений N(λ) получаются координаты цвета монохроматических излучений единичной мощности:

$$r(\lambda) / N(\lambda) = \bar{r}(\lambda); \quad g(\lambda) / N(\lambda) = \bar{g}(\lambda); \quad b(\lambda) / N(\lambda) = \bar{b}(\lambda). \qquad (13)$$

Значение N(λ) в ваттах находят по формуле:

$$N(\lambda) = B_F(\lambda)/K(\lambda), \qquad (14)$$

где $B_F(\lambda)$ – яркость единичных монохроматических излучений, лм; K(λ) – коэффициент, учитывающий соотношение между потоком излучения и световым потоком.

Витебский государственный технологический университет

Для монохроматического излучения с длиной волны 556 нм K(λ) составляет 683 лм/Вт.

Для остальных спектральных излучений

$$K(\lambda) = 683\nu(\lambda),$$

где ν(λ) — значение ординаты кривой спектральной чувствительности глаза при длине волны λ.

Значение $B_{F(}\lambda_{)}$ рассчитывают по формуле:

$$B_F(\lambda) = 1r(\lambda) + 4{,}59g(\lambda) + 0{,}06b(\lambda), \qquad (15)$$

где 1; 4,59; 0,06 – мощности светового потока единичных цветов R, G, B, лм.

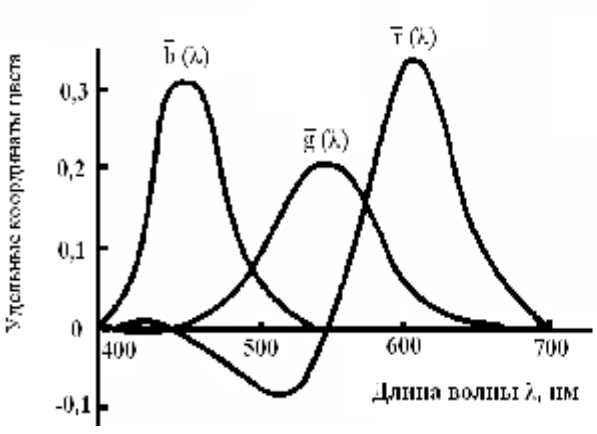
При подстановке значений N(λ) и K(λ) в формулы (13) получаются следующие выражения для координат цвета монохроматических излучений мощностью в 1 Вт:

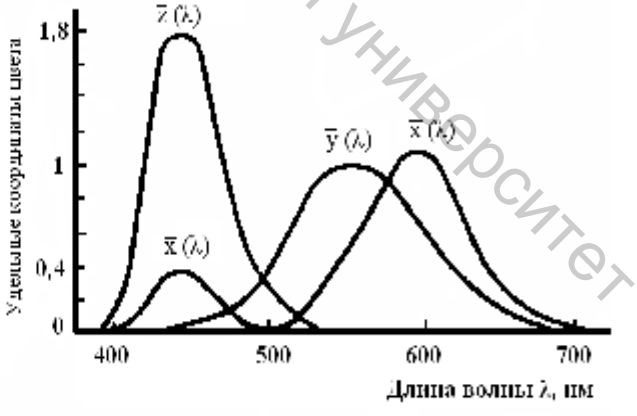
$$\bar{r}(\lambda) = r(\lambda)\, 683\nu(\lambda)/ B_F(\lambda);$$
$$\bar{g}(\lambda) = g(\lambda)683\ \nu(\lambda)/ B_{F(}\lambda_{)};$$
$$\bar{b}(\lambda) = b(\lambda)683\ \nu(\lambda)/ B_F(\lambda). \qquad (16)$$

Для определения качественных и количественных показателей цвета не обязательно использовать абсолютные значения координат цвета монохроматических излучений.

Качественные показатели не зависят от того, какие используются значения (абсолютные или относительные), а количественная характеристика с переходом от абсолютных величин к относительным изменяется пропорционально для всех цветов. Поэтому расчет значений $\bar{r}(\lambda)$; $\bar{g}(\lambda)$; $\bar{b}(\lambda)$ был выполнен без учета коэффициента 683. Рассчитанные таким образом величины называются ***удельными координатами спектральных излучений постоянной мощности.***

Если результаты расчета удельных координат спектральных излучений представить графически, получаются кривые, называемые ***кривыми сложения системы*** RGB (рис.18).





Витебский государственный технологический университет

Рис.18. Кривые сложения $\bar{r}(\lambda)$; $\bar{g}(\lambda)$; $\bar{b}(\lambda)$ или удельные координаты спектральных излучений постоянной мощности в системе RGB

Рис.19. Кривые сложения $\bar{x}(\lambda)$; $\bar{y}(\lambda)$; $\bar{z}(\lambda)$ или удельные координаты спектральных излучений постоянной мощности в системе XYZ

С помощью этих кривых можно определить, в каких количествах следует смешать основные единичные цвета R, G, B, чтобы воспроизвести монохроматические излучения мощностью 1/683 Вт.

В Международной системе измерения XYZ по аналогии с системой RGB удельные координаты спектральных излучений равны

$$\bar{x}(\lambda) = x(\lambda)\, v(\lambda)/ B_F(\lambda);$$
$$\bar{y}(\lambda) = y(\lambda)\, v(\lambda)/ B_F(\lambda);$$
$$\bar{z}(\lambda) = z(\lambda)\, v(\lambda)/ B_F(\lambda). \quad (17)$$

Учитывая, что яркость единичных монохроматических излучений $B_F(\lambda)$ в системе XYZ равна y, формулы (17) принимают следующий вид:

$$\bar{x}(\lambda) = x(\lambda)v(\lambda)/y(\lambda);$$
$$\bar{y}(\lambda) = v(\lambda);$$
$$\bar{z}(\lambda) = z(\lambda)v(\lambda)/y(\lambda). \quad (18)$$

Рассчитанные по формулам (18) значения $\bar{x}(\lambda)$; $\bar{y}(\lambda)$; $\bar{z}(\lambda)$ приводятся в справочных таблицах. Представленные в виде кривых эти данные носят название ***кривых сложения системы*** XYZ (рис.19). По аналогии с кривыми сложения системы RGB эти кривые позволяют определить количества цветов X, Y, Z, необходимых для воспроизведения монохроматических излучений постоянной мощности.

Исходя из удельных координат монохроматических излучений постоянной мощности, цвет произвольного монохроматического излучения $dF(\lambda)$ можно представить уравнением

$$dF(\lambda) = \Phi(\lambda)d\lambda\left[\bar{x}(\lambda)X+\bar{y}(\lambda)Y+\bar{z}(\lambda)Z\right], \quad (19)$$

где $\Phi(\lambda)d\lambda$ – мощность монохроматического излучения.

Цвет сложного по составу излучения F будет равен

$$F = \sum dF(\lambda) = \sum\Phi(\lambda)\, d\lambda\left[\bar{x}(\lambda)X+\bar{y}(\lambda)Y+\bar{z}(\lambda)Z\right] =$$
$$= X\sum\Phi(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda + Y\sum\Phi(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda + Z\sum\Phi(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda. \quad (20)$$

Из сопоставления уравнений (20) и (10) следует, что

$$\bar{x}=\sum\Phi(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda; \qquad \bar{y}=\sum\Phi(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda; \qquad \bar{z}=\sum\Phi(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \quad (21)$$

или в интегральном виде (для сложных излучений, имеющих сплошной спектр)

Витебский государственный технологический университет

$$\bar{x} = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda)\,\bar{x}(\lambda)d\lambda;\ \bar{y} = \int_{380}^{780} \Phi\,\Phi(\lambda)\,\bar{y}(\lambda)d\lambda;\qquad \bar{z} = \int_{380}^{780} \Phi\,\Phi(\lambda)\,\bar{z}(\lambda)d\lambda.$$

Наряду с функциями сложения, принятыми в 1931г., МКО в 1959г. рекомендовала новые функции сложения цветов. При разработке новых функций учитывалась необходимость перехода от двухградусных полей зрения в колориметрах к десятиградусным, обеспечивающим, по мнению некоторых исследователей, снижение погрешности колориметрических измерений, по крайней мере, в два раза. Поэтому новые функции получены в условиях десятиградусного поля зрения, при этом использовался новый колориметрический метод, основанный на непосредственном измерении распределения энергии в спектре источников света и координат цвета спектральных излучений.

Для отличия от функций $\bar{x}(\lambda)$; $\bar{y}(\lambda)$; $\bar{z}(\lambda)$ новые функции обозначены $\bar{x}_{10}(\lambda)$; $\bar{y}_{10}(\lambda)$; $\bar{z}_{10}(\lambda)$, где индекс 10 отмечает их принадлежность к десятиградусному полю зрения. Кривая $\bar{y}_{10}(\lambda)$ в отличие от кривой $\bar{y}(\lambda)$ не совпадает с международной кривой видности.

Новые функции сложения цветов пока не нашли широкого применения и функции сложения МКО, принятые в 1931г., сохранили свое значение. При опытных проверках, заключавшихся в сравнении координат цвета, вычисленных по спектрофотометрическим данным, с координатами цвета, полученными путем прямых колориметрических измерений, не обнаружено явных преимуществ новых функций перед старыми. Поэтому решением Колориметрического комитета МКО признано необходимым применять новые функции лишь в качестве дополнения к функциям МКО 1931г. и рекомендовано пользоваться ими для колориметрических измерений при угле зрения большем 4°.

РАЗРАБОТКА ЦВЕТОВОГО ГРАФИКА, НЕРЕАЛЬНЫЕ ЦВЕТА X, Y, Z

Из первого закона оптического смешения следует, что цвет является трехмерным вектором. Естественно считать, что все цветовые векторы имеют одно общее начало, которое соответствует нулевому количеству всех цветов, т.е. черному цвету.

Примем во внимание, что сложение двух цветов ни при каких обстоятельствах не приводит к получению черного цвета, что не существует цветовых векторов диаметрально противоположного направления. Из этого вытекает, что цветовые векторы будут размещаться в пределах телесного угла, меньшего 2π.

Витебский государственный технологический университет

Представим себе три произвольных вектора OR, $\overrightarrow{OG}$, $\overrightarrow{OB}$, имеющих общее начало в точке O, произвольного направления и не лежащих в одной плоскости (рис.20а).

Условимся считать, что эти три вектора изображают три линейно независимых единичных цвета R, G, B, т.е. $\overrightarrow{OR} = R$; $\overrightarrow{OG} = G$; $\overrightarrow{OB} = B$.

Изобразим цвет, представленный уравнением $F = \bar{r}\,R + \bar{g}\,G + \bar{b}\,B$.

Для этого продолжим векторы $\overrightarrow{OR}$, $\overrightarrow{OG}$, $\overrightarrow{OB}$ и отложим на них отрезки $\overrightarrow{OL}$, $\overrightarrow{OM}$, $\overrightarrow{ON}$, равные векторам основных цветов:

$$\overrightarrow{OL} = \bar{r}\,R = \bar{r}\,\overrightarrow{OR}; \quad \overrightarrow{OM} = \bar{g}\,G = \bar{g}\,\overrightarrow{OG}; \quad \overrightarrow{ON} = \bar{b}\,B = \bar{b}\,\overrightarrow{OB} \qquad (22)$$

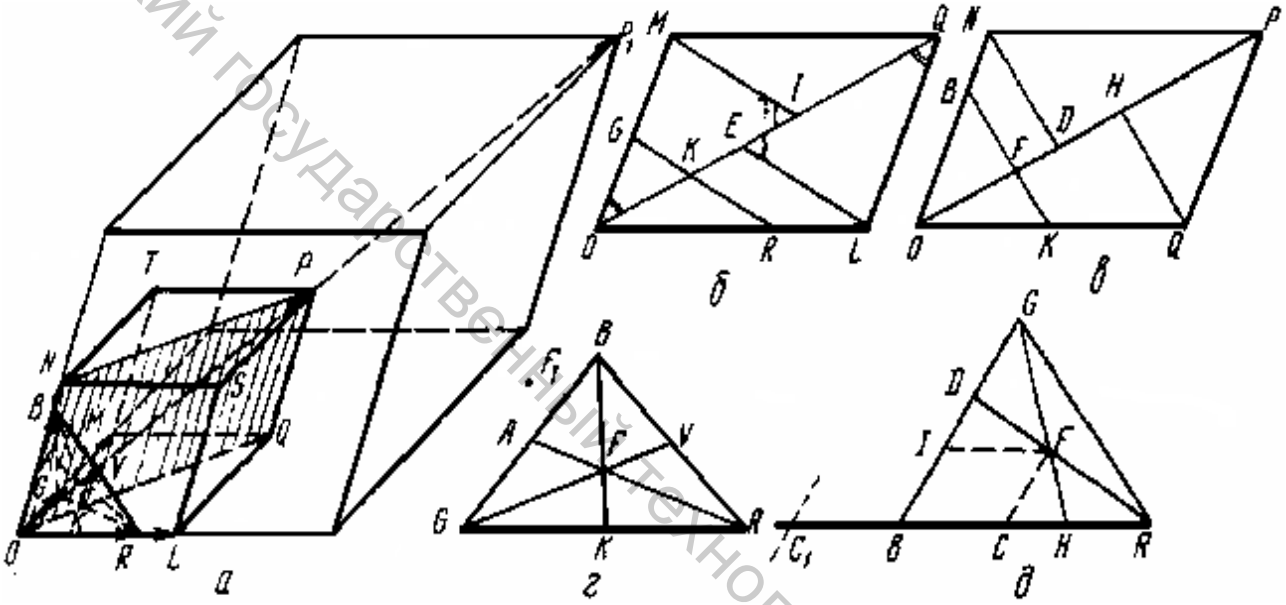


Рис. 20. Пространственное изображение цвета F вектором **OP**, являющимся диагональю параллелепипеда, построенного на векторах $\overrightarrow{OL}$, $\overrightarrow{OM}$, $\overrightarrow{ON}$, равных координатам цвета $\bar{r}$; $\bar{g}$; $\bar{b}$

На векторах построим параллелепипед и проведем диагональ параллелепипеда OP (см. рис.20в). Конец диагонали (точка P) представляет местонахождение цвета в трехмерном пространстве, а диагональ $\overrightarrow{OP}$ характеризует его свойства. В частности, направление диагонали $\overrightarrow{OP}$ в пространстве характеризует качество цвета F, а ее длина – количество. В том, что это так, нетрудно убедиться, изобразив аналогичным образом цвет F_1, у которого каждая из координат цвета в два раза больше, чем у цвета F. Поскольку при оптическом смешении цветов их координаты складываются, цвет F_1 можно рассматривать как сумму двух цветов F. От сложения же двух одинаковых цветов их цветовой тон и чистота не изменятся, а только увеличится в два раза яркость результирующего цвета. Следовательно, цвет F_1 является по качеству таким же, как цвет F, а по количеству в два раза больше его. На рис. 20 цвет F_1 представлен диагональю $\overrightarrow{OP_1}$, направление диагоналей

Витебский государственный технологический университет

$\dot{OP}$ и $\dot{OP}_1$, представляющих два качественно одинаковых цвета, совпадает. Длина же диагонали $\dot{OP}_1$ в два раза больше, чем $\dot{OP}$, что согласуется с величиной модуля цвета F_1, для которого он в два раза выше, чем для цвета F. Таким образом, при пространственном представлении цветов качество цвета характеризуется направлением результирующего вектора, а количество – его длиной.

Обратимся теперь к треугольнику RGB, полученному при соединении концов векторов единичных цветов R, G, B. Этот треугольник называется треугольником единичных цветов. Для всех цветов, представленных точками в плоскости треугольника RGB, модуль цвета равен единице и, следовательно, координаты цвета и цветности равны между собой. Результирующий вектор цвета F $\dot{OP}$ пересекает плоскость этого треугольника в точке F. Положение этой точки внутри треугольника связано с качеством цвета F. В частности, если через точку F и вершины треугольника RGB провести прямые, можно показать, что точка F делит эти прямые на части, для которых справедливы следующие отношения:

$$FK/BK = b;\ FV/GV = g;\ FA/RA = r. \qquad (23)$$

Из выражений (23) следует, что местонахождение точки внутри треугольника характеризуется отношениями, равными координатам цветности, которые, как было показано выше, характеризуют качество цвета.

Для доказательства справедливости выражений (23) обратимся к параллелограмму OMQL (рис. 20б), являющемуся основанием параллелепипеда, изображенного на рис.20. Соединим прямой линией точки R и G (одна из сторон треугольника RGB) и проведем вспомогательные линии LE и MI, параллельные RG. Обозначим буквой К точку пересечения прямых RG и OQ. Приняв во внимание равенство треугольников OMI и ELQ, напишем

$$OQ = OE + EQ = OE + OI. \qquad (24)$$

Найдем значение OE из подобия треугольников OEL и OKR и значение OI из подобия треугольников OM и OKG

$$OE/OK = OL/OR;\ OI/OK = OM/OG.$$

Введя принятые выше обозначения векторов в выражениях (22), запишем:

$$OE/OK = \bar{r}\,OR/OR;\quad OI/OK = \bar{g}\,OG/OG; \qquad (25)$$

$$OE = \bar{r}\,OK;\quad OI = \bar{g}\,OK.$$

Подставим найденные значения в равенство (15.19) и получим

$$OQ = OE + OI = \bar{r}\,OK + \bar{g}\,OK = OK(\bar{r} + \bar{g}). \qquad (26)$$

Рассмотрим теперь параллелограмм ONPQ (рис. 20в), который получается при сечении параллелепипеда плоскостью, проходящей через вектор ON и диагональ OQ (см. рис.20а). Проведем вспомогательные линии ND и QH, параллельные BK (см. рис.20в).

Учитывая подобие треугольников OND и OBF, а также треугольников OHQ и OFK, найдем значение отрезков ND и HQ

Витебский государственный технологический университет

$$ND/BF = ON/OB;\ ND/BF = \bar{b}\,OB/OB;\ ND = \bar{b}\,BF;$$

$$HQ/FK = OQ/OK; \quad HQ/FK = OK(\bar{r}+\bar{g})/OK; \quad HQ = (\bar{r}+\bar{g})FK.$$

В силу равенства треугольников OND и HPQ можно записать

$$ND = HQ, \text{ или } BF\,\bar{b} = FK(\bar{r}+\bar{g}),$$

отсюда $BF/FK = (\bar{r}+\bar{g})/\bar{b}$.

Прибавим по единице к обеим частям равенства:

$$BF/FK + 1 = (\bar{r}+\bar{g})/\bar{b} + 1,$$

$$(BF+ FK)/FK = (\bar{r}+\bar{g}+\bar{b})/\bar{b}.$$

Возьмем обратные величины:

$$FK/(BF + FK) = \bar{b}/(\bar{r}+\bar{g}+\bar{b}); \quad FK/BK = \bar{b}/m = b.$$

Если теперь провести сечение параллелепипеда по OM и OS (см. рис.20а), а затем по OT и OL, плоскости этих параллелограммов пересекут плоскость треугольника RGB по прямым GV и RA (рис.20г).

Проведя доказательства, аналогичные изложенным выше, получим: точка F делит эти прямые на части, для которых справедливы отношения

$$FV/GV = \bar{g}/m = g;\ FA/AR = \bar{r}/m = r. \qquad (27)$$

Из рассмотренного материала следует, что существуют два возможных варианта построения графической системы представления цветов.

Первый вариант предусматривает создание графической системы, в которой каждый цвет характеризуется с качественной и количественной стороны и представляется соответствующим вектором в трехмерном пространстве.

По второму варианту, основанному на свойствах точки, лежащей внутри треугольника RGB и описываемых формулами (27), возможно создание графической системы, в которой каждый цвет характеризуется только с качественной стороны.

Сложность первого варианта очевидна, поэтому для получения более простой графической системы был выбран второй вариант, позволяющий создание плоскостной системы. За основу такой системы был принят цветовой треугольник, в вершинах которого расположены единичные цвета R, G, B. Создание графической системы осуществлялось следующим образом.

Для монохроматических излучений с длинами волн от 380 до 780нм экспериментально были определены координаты цветности, используя которые на плоскость треугольника RGB наносили точки, соответствующие этим излучениям.

Для пояснения методики нанесения на плоскость треугольника RGB точек, соответствующих монохроматическим излучениям, обратимся к рис.20д. Через точку F, представляющую определенный цвет, проведем прямые RD и GH. На основании выражений (27) для точки F можно записать

Витебский государственный технологический университет

$$r = FD/RD = FI/RB = BC/BR; \quad g = FH/GH = FC/GB = BI/BG. \qquad (28)$$

При нанесении на плоскость цветового треугольника цвета F, имеющего координаты цветности r, g, b, поступают следующим образом. Вершину треугольника B принимают за начало косоугольной системы координат и вдоль BR откладывают отрезок BC = rBR. Через точку C проводят прямую, параллельную стороне треугольника, лежащей против вершины R. Если r имеет отрицательное значение, то отрезок BC откладывают в противоположную сторону (BC_1). Так же вдоль BG откладывают отрезок BI = gBG и через точку F проводят прямую, параллельную RB. Точка пересечения прямых CF и IF будет искомой точкой, представляющей местонахождение цвета на плоскости цветового треугольника RGB.

На рис. 21 показан цветовой треугольник RGB, на плоскость которого нанесены монохроматические излучения от 435,8 до 700нм.

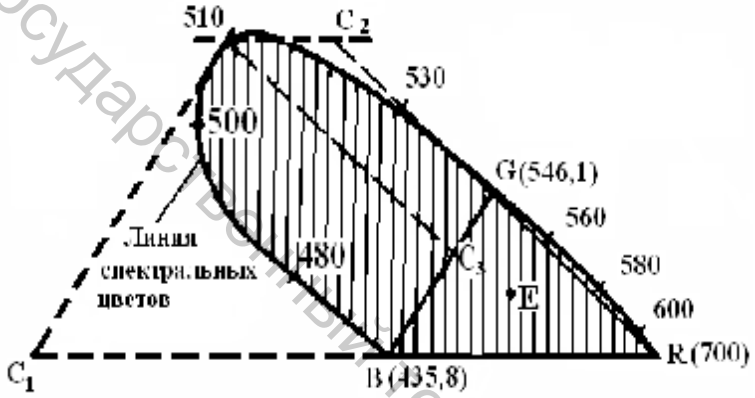


Рис. 21. Цветовой график системы, основными цветами которой являются монохроматические излучения 700нм, 546,1нм, 435,8 нм (точка E – равноинтенсивный источник света)

В качестве примера на рисунке показано построение точки F, соответствующей монохроматическому излучению 510нм. Координаты цветности для этого излучения равны:

$$r(\lambda) = -1{,}3371; \; g(\lambda) = 1{,}9318; \; b(\lambda) = 0{,}4053.$$

Поскольку координата r отрицательна, влево от точки B отложен отрезок BC_1 = 1,3371BR. На продолжении стороны треугольника RG отложен отрезок RC_2 = 1,9318RG. Через точку C_1 и C_2 проведены прямые, параллельные сторонам треугольника BG и BR. Точка пересечения этих прямых и является местонахождением излучения 510 нм.

Если теперь воспользоваться третьей координатой цветности и отложить отрезок GC_3, равный GB 0,4053, а затем через точку C_3 провести прямую, параллельную RG, то эта прямая пройдет через точку F.

Линия, на которой расположены точки монохроматических излучений, носит название ***линии спектральных цветов***. Как видно из рис.21, эта линия

Витебский государственный технологический университет

проходит через вершины цветового треугольника и охватывает всю его площадь.

Заслуживают внимания следующие особенности графика.

Во-первых, монохроматические излучения с длиной волны от 546,1нм (вершина треугольника G) до 700 нм (вершина треугольника R) лежат на линии, практически совпадающей со стороной треугольника RG. Координата цветности b(λ) для этих цветов очень незначительна и составляет 0,0001- 0,004. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что спектральные цвета в диапазоне 546,1-700нм могут быть получены смешением практически только двух основных цветов R и G.

Во-вторых, цветность произвольной смеси монохроматических излучений никогда не изображается точкой, лежащей вне заштрихованной площади, называемой полем реальных цветов.

В-третьих, длины волн распределены вдоль линии спектральных цветов чрезвычайно неравномерно. Большое "сгущение" длин волн наблюдается в начале и конце кривой. На участки 400 — 450 и 600 — 700нм проходят очень короткие отрезки кривой, в то время как длина кривой для участка 490—540нм во много раз больше. Следует, однако, отметить, что никаких заключений о визуальном различении цветностей отсюда делать нельзя.

В-четвертых, цветности всех излучений с длинами волн больше 700нм оказываются одинаковыми с цветностью спектрального цвета, для которого $\lambda = 700$нм.

В-пятых, точка, характеризующая равноинтенсивный источник света E, лежит в центре тяжести треугольника RGB на пересечении его медиан. Действительно, так как белый свет получается путем смешения равных количеств основных цветов, координаты цветности для него равны $r = g = b = 1/3$, что характерно для точки, расположенной в центре тяжести треугольника.

Важной особенностью цветового графика является также то, что большое количество цветов располагается вне треугольника RGB на площади, ограниченной стороной треугольника BG и линией GFB. Все эти цвета имеют отрицательную координату цветности r. Поэтому построение цветового графика, основанного на использовании цветов R, G, B, привело бы к тому, что во многих случаях расчета характеристик цвета использовались бы отрицательные величины. Замена основных излучений R, G, B на триаду других спектральных излучений не позволяет устранить указанный недостаток, так как ни один треугольник, в вершинах которого лежат спектральные цвета, не может охватить всей площади реальных цветов.

Стремление избежать отрицательных коэффициентов и таким образом создать систему, более удобную для вычислений, привело к тому, что реальные основные цвета R, G, B были заменены тремя реально не воспроизводимыми цветами, обозначенными через X, Y, Z. Эти цвета лежат вне поля реальных цветов и располагаются так, что образованный ими треугольник охватывает все поле реальных цветов. Такое расположение выбранных цветов позволило

Витебский государственный технологический университет

избавиться от отрицательных значений координат цвета и цветности. Наряду с этим, выбор цветов X, Y, Z был проведен так, чтобы упростилось нахождение яркости цвета – третьей характеристики цвета, определяемой расчетным путем, поскольку в двухмерной графической системе она не нашла своего отражения.

Основные цвета X, Y, Z выбирались следующим образом. Вследствие того, что любой произвольный цвет выражается через основные цвета R, G, B, яркость такого цвета может быть рассчитана исходя из яркости этих основных цветов. На основе этого яркость произвольного единичного цвета, т.е. цвета, представленного точкой на плоскости цветового графика, будет характеризоваться выражением

$$B_F = rB_R + gB_G + bB_B, \quad (29)$$

где B_R, B_G, B_B – яркости основных единичных цветов R, G, B.

При переходе к новым основным цветам X, Y, Z яркость единичных цветов по аналогии будет равна

$$B_F = xB_X + yB_Y + zB_Z, \quad (30)$$

где B_X, B_Y, B_Z – яркости основных единичных цветов X, Y, Z; x, y, z – координаты цветности цвета F в системе XYZ.

Из выражения (30) видно, что если яркость двух цветов из трех основных будет равна нулю, расчет яркости значительно упростится. Выбор основных цветов, отвечающих этому условию, проводился следующим образом.

Яркость единичного цвета с учетом яркости основных цветов равна

$$B_F = rB_R + gB_G + bB_B = 1r + 4{,}5907g + 0{,}0601b. \quad (31)$$

Приняв во внимание, что r + g + b = 1, откуда b = 1- (r + g) после подстановки в уравнение (31) значения b получаем

$$B_F = 1r + 4{,}5907g + 0{,}0601\ (1 - r - g) = 0{,}9399r + 4{,}5306g + 0{,}0601. \quad (32)$$

Уравнение (32) позволяет рассчитать яркость спектральных цветов, а также яркость любых произвольных цветов по значениям координат цветности r и g. Для цветов, представленных точками внутри треугольника RGB и на его сторонах, для которых r и g положительны или равны нулю, яркость всегда больше нуля. Но вне площади треугольника можно найти точки, для которых B_F меньше нуля или равна нулю.

Геометрическое место точек, для которых $B_F = 0$, запишется уравнением

$$0{,}9399r + 4{,}5306g + 0{,}0601 = 0, \quad (33)$$

являющимся уравнением прямой в косоугольной координатной системе r, g. Прямая, для которой $B_F = 0$, получила название **алихна**, т.е. "бесцветная". Расположение этой прямой, а также прямых, для которых B_F равна 1 и -1, показано на рис. 22.

Витебский государственный технологический университет

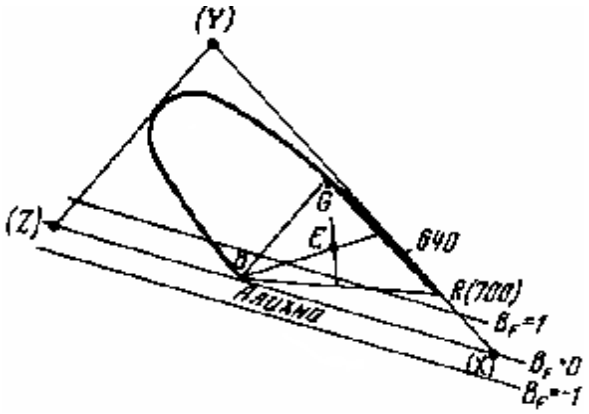


Рис. 22. Цветовой график RGB, на плоскости которого нанесены единичные цвета (X), (У), (Z)

На основании рассмотренного можно заключить, что поставленное условие выполняется тогда, когда два из трех новых основных цветов располагаются на алихне. Поэтому одну из сторон нового треугольника цветов провели по алихне.

Вторую сторону треугольника провели через точки монохроматических излучений 700 и 640нм, такое ее расположение обеспечило дальнейшее упрощение системы, поскольку одна из координат цветности для длинноволновых монохроматических излучений стала равна нулю. Исходя из координат цветности монохроматических излучений 700 и 640 нм, которые соответственно равны r = 1, g = 0 и r = 0,9797, g = 0,0205, вторую сторону треугольника можно охарактеризовать следующим уравнением прямой, проходящей через две точки:

$$\frac{r-0,9797}{1-0,9797}=\frac{g-0,0205}{0-0,0205} \quad \text{или} \quad r+0,99g-1=0. \qquad (34)$$

Третья сторона нового цветового треугольника была выбрана с таким расчетом, чтобы она не пересекала поля реальных цветов и проходила достаточно близко к нему. Эта сторона треугольника описывается уравнением прямой

$$1,45r+0,55g+1=0. \qquad (35)$$

В местах пересечения сторон треугольника располагаются единичные цвета (X), (Y), (Z). В результате совместного решения уравнения (33) с уравнением (34) и (35), а также уравнения (34) и (35) найдены координаты цветности для этих цветов, на основании которых цвета (X), (Y), (Z) записываются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}(X) &= 1,2750R-0,2778G+0,0028B;\\ (Y) &= -1,7393R+2,7673G-0,0280B;\\ (Z) &= -0,7431R+0,1409G+1,6022B.\end{aligned} \qquad (36)$$

Цвета (X), (Y), (Z), отвечая основному поставленному требованию, не обеспечивают, однако, полного удобства при построении цветового графика.

Витебский государственный технологический университет

В частности, в сумме эти цвета не дают белого цвета Е, а поэтому точка Е не лежит в центре тяжести треугольника (X) (Y) (Z) (см. рис.22).

Чтобы смесь цветов (X), (Y), (Z) давала белый цвет, проведены количественные преобразования этих цветов, т.е. найдены такие количества α, β, γ цветов (X), (Y), (Z), при которых справедливо равенство

$$\alpha(X) + \beta(Y) + \gamma(Z) = R + G + B. \quad (37)$$

Для нахождения коэффициентов α; β; γ в уравнение (37) вместо (X), (Y), (Z) подставляют их значения из уравнений (36).

После группировки членов с одинаковыми индексами получается следующее уравнение:

$$(1{,}2750\alpha - 1{,}7393\beta - 0{,}7431\gamma)R + (-0{,}2778\alpha + 2{,}7673\beta + 0{,}1409\gamma)G + $$
$$+ (0{,}0028\alpha - 0{,}0280\beta + 1{,}6022\gamma)B = R + G + B. \quad (38)$$

Сравнив левую и правую части уравнения (38), можно записать

$$\begin{aligned} 1{,}2750\alpha - 1{,}7393\beta - 0{,}7431\gamma &= 1; \\ -0{,}2778\alpha + 2{,}7673\beta + 0{,}1409\gamma &= 1; \\ 0{,}0028\alpha - 0{,}0280\beta + 1{,}6022\gamma &= 1. \end{aligned} \quad (39)$$

Решив эти три уравнения, получим: $\alpha = 1{,}8546$; $\beta = 0{,}5155$; $\gamma = 0{,}6299$.

Перемножив уравнения (36) на коэффициенты α, β, γ, получаем следующие выражения для нереальных цветов X, Y,Z:

$$\begin{aligned} X &= 2{,}36461R - 0{,}51515G + 0{,}00520B; \\ Y &= -0{,}89654R + 1{,}42640G - 0{,}01441B; \\ Z &= -0{,}46807R + 0{,}08875G + 1{,}00921B. \end{aligned} \quad (40)$$

Из уравнений (40) видно, что X + Y + Z = R + G + B, т.е. при сложении X, Y, Z получается такой же цвет, как и при сложении излучений R, G, B.

Яркость основных цветов X, Y, Z определяется по уравнениям (40), которые связывают эти цвета с цветами R, G, B.

Подставив в уравнения (40) численные значения яркостей единичных цветов R, G, B, получим, что яркости цветов X и Z равны нулю, что и следовало ожидать, так как оба цвета лежат на алихне. Яркость цвета Y составляет 5,6508, что является следствием условия, по которому суммы яркостей основных цветов в обеих системах равны друг другу.

Исходя из яркостей основных цветов, яркость любого цвета в системе XYZ равна

$$B_Ф = \bar{x}B_X + \bar{y}B_Y + \bar{z}B_Z = \bar{x}\cdot 0 + \bar{y}\cdot 5{,}6508 + \bar{z}\cdot 0 = 5{,}6508\bar{y}. \quad (41)$$

Для упрощения определения яркости коэффициентом 5,6508 пренебрегают, в результате чего эта величина приобретает относительный характер и называется ***относительной яркостью, или светлотой***.

Относительная яркость (L) в системе XYZ становится равной координате цвета $\bar{y}$. Для построения цветового графика, основанного на цветах X, Y, Z,

Витебский государственный технологический университет

используя уравнения (40), экспериментально полученные значения координат цветности монохроматических излучений были пересчитаны из системы RGB в систему XYZ.

Пересчет осуществляется по следующей методике. При переходе из одной системы в другую для каждого цвета должно соблюдаться равенство

$$r'(\lambda)R + g'(\lambda)G + b'(\lambda)B = x'(\lambda)X + y'(\lambda)Y + z'(\lambda)Z, \quad (42)$$

где $r'(\lambda)$; $g'(\lambda)$; $b'(\lambda)$ и $x'(\lambda)$; $y'(\lambda)$; $z'(\lambda)$ – координаты цвета монохроматических излучений в системах RGB и XYZ.

В результате замены в этом равенстве X, Y, Z соответствующими значениями из уравнения (40) и приравнивания коэффициентов при R, G, B в левой и правой частях равенства получаем следующие уравнения:

$$\begin{aligned} r'(\lambda) &= 2{,}36461x'(\lambda) - 0{,}89654y'(\lambda) - 0{,}46807\, z'(\lambda); \\ g'(\lambda) &= -0{,}51515x'(\lambda) + 1{,}42640y'(\lambda) + 0{,}0887z'(\lambda); \\ b'(\lambda) &= 0{,}00520x'(\lambda) - 0{,}01441y'(\lambda) + 1{,}00921\, z'(\lambda). \end{aligned} \quad (43)$$

В левую часть уравнений (43) подставляют значения координат цветности монохроматических излучений (поскольку координаты цветности для них равны координатам цвета), рассчитывают значения $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$, $z'(\lambda)$. Затем по формулам (9) определяют координаты цветности $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ монохроматических излучений.

Полученные координаты цветности монохроматических (или спектральных) излучений использовались при построении цветового графика МКО.

ЦВЕТОВОЙ ГРАФИК МКО (ГРАФИК ПЕРЕХОДА ОТ КООРДИНАТ ЦВЕТНОСТИ К КООРДИНАТАМ ЦВЕТОВОЙ ТОН И ЧИСТОТА ЦВЕТА)

Цветовой график, основанный на цветах X, Y, Z (цветовой график МКО), построен следующим образом. В прямоугольной вершине треугольника помещен основной цвет Z, а цвета X и Y располагаются в двух других вершинах треугольника, равные катеты которого приняты за единицы (рис. 23). Для точки произвольного цвета F в треугольнике XYZ согласно общему правилу, выраженному уравнениями (27), справедливы отношения

$$X = \frac{PF}{PX} = \frac{DF}{ZX} = \frac{ZH}{ZX} = \frac{ZH}{1} = ZH;$$

$$Y = \frac{SF}{SY} = \frac{FH}{ZY} = \frac{ZD}{ZY} = \frac{ZD}{1} = ZD. \quad (44)$$

Витебский государственный технологический университет

Из выражений (44) следует, что для определения местонахождения того или иного цвета на графике необходимо по осям графика отложить соответствующие значения координат цветности.

На плоскость треугольника XYZ по значениям x(λ), y(λ), откладываемым по осям графика, наносят точки, соответствующие монохроматическим излучениям от 380 до 780 нм. В результате соединения этих точек получается линия спектральных цветов. В соответствии с выбором основных цветов линия спектральных цветов лежит внутри треугольника XYZ, а точка равноинтенсивного излучения E расположена в центре тяжести этого треугольника и имеет координаты цветности x = y = z =1/3.

Все реальные цвета располагаются на площади, ограниченной линией спектральных цветов и прямой, соединяющей концы этой линии, при этом на площади внутри треугольника REB располагаются пурпурные цвета. Между линией спектральных цветов и точкой стандартного источника света E расположен ряд замкнутых линий, каждой из которых соответствует определенное значение чистоты. Эти линии называются **линиями постоянной чистоты.**

Цветовой график МКО является удобной формой графического изображения цветов и позволяет определить цветовой тон и чистоту любого цвета по его координатам цветности. Для этого по осям графика откладывают значения координат цветности, по которым находят местонахождение цвета. Затем из точки белого цвета E через полученную точку (например, точка C на рис. 23) проводят прямую до пересечения с линией спектральных цветов.

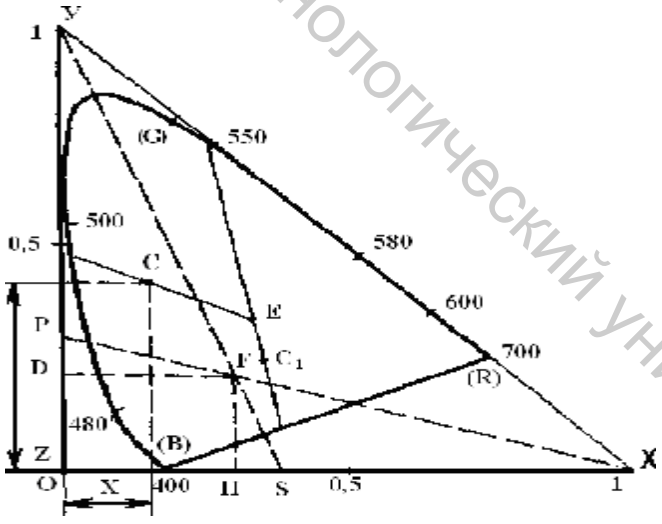


Рис. 23. Цветовой график системы XYZ, основные цвета которой являются нереальными цветами и яркости двух из них (X и Z) равны нулю

Витебский государственный технологический университет

В точке пересечения по цифровым значениям, нанесенным на линии спектральных цветов, отыскивают длину волны, определяющую цветовой тон. Если точка измеряемого цвета попадает в область пурпурных цветов (например, точка C_1 на рис.23), то для определения цветового тона через нее и точку стандартного источника света проводят прямую до пересечения с линией "чистых пурпурных цветов" (прямой, соединяющей концы линии спектральных цветов). В месте пересечения находят значение цветового тона. Цифровые значения, нанесенные на этой линии, имеют штрих, что является отличительной особенностью обозначения цветового тона пурпурных цветов. В связи с тем, что количество цифровых значений, проставленных на этой линии, невелико (вследствие большого "сгущения" длин волн), более точно цветовой тон пурпурных цветов можно определить, если продолжить проведенную прямую в противоположную сторону до пересечения с линией спектральных цветов. При найденном таким образом цифровом значении дополнительно ставится штрих.

Чистоту измеряемого цвета определяют по местонахождению точки этого цвета на графике МКО с помощью линий постоянной чистоты, указывающих значения чистоты цветов, которые располагаются на этих линиях. Более точно чистоту рассчитывают по формуле

$$p=\frac{y(\lambda)}{y}\frac{y-y_w}{y(\lambda)-y_w}=\frac{y(\lambda)}{y}\frac{x-x_w}{x(\lambda)-x_w}, \qquad (45)$$

где x, y – координаты цветности измеряемого цвета; x(λ), y(λ) – координаты цветности монохроматического излучения, характеризующего цветовой тон измеряемого цвета. Для пурпурных цветов это координаты цветности соответствующего излучения, лежащего на линии "чистых пурпурных цветов"; x_w, y_w – координаты цветности стандартного источника света.

Для рассмотрения вывода формулы обратимся к рис. 24.

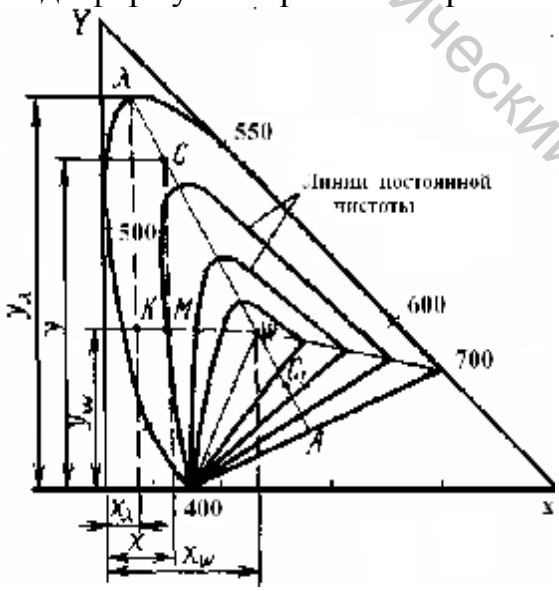


Рис. 24. Цветовой график системы XYZ с линиями постоянной чистоты, позволяющими определять чистоту цветов.

Витебский государственный технологический университет

Индексом W обозначен стандартный источник света

Цвет С может быть получен путем смешения монохроматического цвета λ и белого W при условии, что модуль цвета λ будет пропорционален отрезку WC, а модуль белого – отрезку Cλ. Модуль полученного таким образом цвета С будет пропорционален отрезку Wλ. Обозначим координаты цветности цвета С через x, y, монохроматического цвета λ через x(λ), y(λ), белого цвета W через x_w, y_w. Яркости единичных цветов С, λ, W будут равны соответственно x, y (λ), y_w. Поскольку цвет С можно рассматривать как смесь монохроматического цвета λ и белого W, яркость этого цвета будет равна сумме яркостей составляющих цветов:

$$B_c = B(\lambda) + B_w \qquad (46)$$

Учитывая, что яркость любого цвета равна произведению яркости единичного цвета на модуль, подставим в формулу (15.41) соответствующие величины:

$$yW\lambda = y(\lambda)WC + y_wC\lambda. \qquad (47)$$

Выразив яркости цветов с учетом зависимости (15.42), получим

$$p = \frac{B_\lambda}{B_\lambda + B_\omega} = \frac{y(\lambda)WC}{y(\lambda)WC + y_\omega C\lambda} = \frac{y(\lambda)WC}{yW_\lambda}. \qquad (48)$$

На основании подобия треугольников WλK и WCM заменим отношение WC/Wλ отношением разностей координат цветности

$$p = \frac{y(\lambda)WC}{yW\lambda} = \frac{y(\lambda)CM}{yK\lambda} = \frac{y(\lambda)}{y}\,\frac{y - y_W}{y(\lambda) - y_W} = \frac{y(\lambda)}{y}\,\frac{x - x_W}{x(\lambda) - x_W}. \qquad (49)$$

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТА ПО СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ КРИВЫМ

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КООРДИНАТ ЦВЕТА

Нахождение координат цвета по формулам (11) и (12) заключается в вычислении соответствующих произведений через равные промежутки длин волн и в последующем их суммировании. Мощность излучения Φ(λ) и спектральный коэффициент отражения ρ(λ) должны быть известны либо для всех длин волн (в форме непрерывных кривых), либо для большого числа длин волн через равные промежутки dλ.

Для вычисления произведений $\Phi(\lambda)\bar{x}(\lambda)$, $\Phi(\lambda)\bar{y}(\lambda)$ и $\Phi(\lambda)\bar{z}(\lambda)$ можно воспользоваться таблицами удельных координат, составленными через интервалы в 5нм. Если величина Φ(λ) изменяется нерезко, расчет можно вести через 10нм и даже 20нм, при этом можно пользоваться таблицей удельных координат, составленной через 5нм. Необходимо учесть, однако, что сопоставление значений координат цвета для различных светящихся тел можно

Витебский государственный технологический университет

проводить только в том случае, если расчет проводился при одном и том же интервале $d\lambda$.

Для упрощения расчетов по формулам (12) в справочных таблицах имеются произведения $\Phi_w(\lambda)\bar{x}(\lambda)$, $\Phi_w(\lambda)\bar{y}(\lambda)$ и $\Phi_w(\lambda)\bar{z}(\lambda)$, рассчитанные относительно стандартных источников света А, В, С, Е. Для вычисления интегралов эти произведения перемножаются на соответствующие значения $\rho(\lambda)$ или $\tau(\lambda)$ и суммируются. Расчет можно выполнять при $d\lambda$ = 5нм, а при плавном характере спектрофотометрических кривых отражения или пропускания – при $d\lambda$ = 10-20нм, но при этом необходимо пользоваться таблицами стандартных величин $\Phi_w(\lambda)\bar{x}(\lambda)$ и др., составленными с соответствующим интервалом. Особенностью этих таблиц является то, что сумма произведений $\Phi_w(\lambda)\bar{y}(\lambda)$ каждой таблицы для любого стандартного источника света равна 100, что было достигнуто за счет пропорционального изменения значений $\Phi_w(\lambda)$ по всему спектру. За счет такого построения таблиц относительная яркость цвета (или светлота), равная координате цвета $\bar{y}(\lambda)$, стала выражаться в процентах без проведения дополнительных расчетов.

РАСЧЕТ КООРДИНАТ ЦВЕТА МЕТОДОМ ИЗБРАННЫХ ОРДИНАТ

Метод избранных ординат позволяет определить координаты цвета несветящихся прозрачных и непрозрачных тел и растворов относительно стандартных источников света по спектрофотометрическим кривым отражения или пропускания света.

Координаты цвета непрозрачных тел рассчитывают по формулам

$$\bar{x} = K_x \sum_{i=1}^{n} \rho(\lambda_{ix}); \quad \bar{y} = K_y \sum_{i=1}^{n} \rho(\lambda_{iy}); \quad \bar{z} = K_z \sum_{i=1}^{n} \rho(\lambda_{iz}), \qquad (50)$$

где Кх, Ку, Kz – постоянные коэффициенты, зависящие от числа n и вида стандартного источника света; $\rho(\lambda_{ix})$, $\rho(\lambda_{iy})$, $\rho(\lambda_{iz})$ – коэффициенты отражения света при определенных значениях длин волн.

При определении координат цвета прозрачных тел вместо коэффициента отражения в формулы (50) подставляют коэффициент пропускания.

Если необходимо определить координаты цвета тела при искусственном освещении, расчет ведется относительно стандартного источника А.

Для нахождения координат цвета при естественном освещении выбирают стандартные источники света В или С.

Для расчета координат цвета по кривой отражения или пропускания света цветным телом или раствором при определенных значениях длин волн определяют n значений коэффициентов отражения или пропускания, которые затем суммируют и умножают на постоянные коэффициенты Кх, Ку, Kz.

Витебский государственный технологический университет

Значения длин волн зависят от вычисляемой координаты цвета и от выбранного стандартного источника света.

В зависимости от формы кривых число n берется равным 10 или 30. При плавной форме кривых, не имеющих резких "пиков" и впадин", n можно принимать равным 10.

Значения длин волн, а также значения постоянных коэффициентов приводятся в справочных таблицах.

Метод избранных ординат разработан П.Л.Чебышевым. Ниже приводится обоснование этого метода и вывод расчетных уравнений. Обратимся к рис. 25.

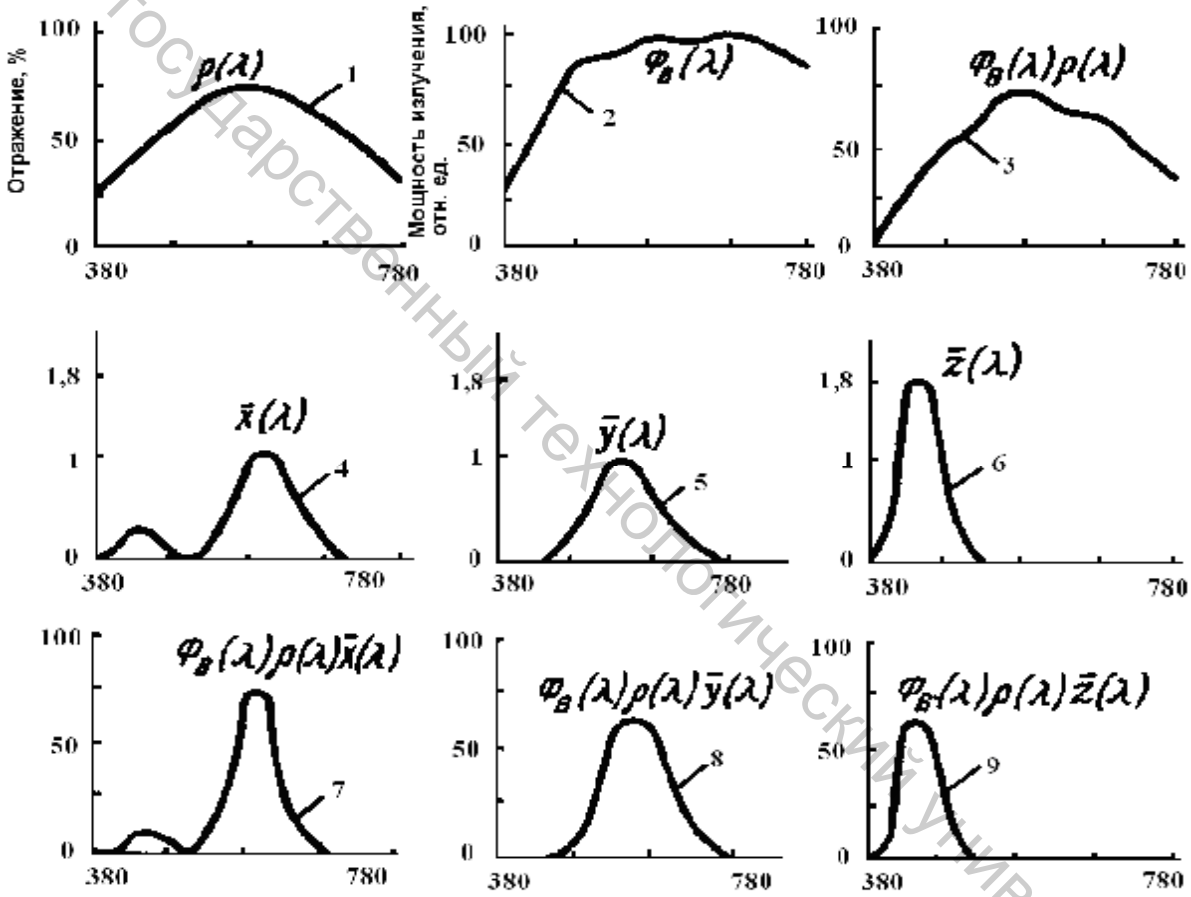


Рис. 25. Графическая иллюстрация к определению координат цвета методом избранных ординат

На первом графике этого рисунка представлена кривая спектрального отражения некоторой цветной поверхности, на втором — кривая, характеризующая спектральный состав излучения стандартного источника света B.

Витебский государственный технологический университет

Спектральный состав света, отраженного от данной поверхности при освещении ее источником света В, представлен на графике кривой 3.

Поскольку каждое монохроматическое излучение с помощью кривых сложения может быть выражено координатами цвета $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, для нахождения координат цвета излучения, представленного на третьем графике, необходимо перемножить ординаты кривой 3 на ординаты кривых сложения 4, 5, 6. Результаты таких перемножений представлены кривыми 7, 8, 9. Площади под этими кривыми пропорциональны координатам цвета, и, следовательно, нахождение координат цвета можно свести к определению соответствующих площадей.

Рассмотрим методику определения площади под кривой 8. С этой целью выполним следующие построения (рис.26).

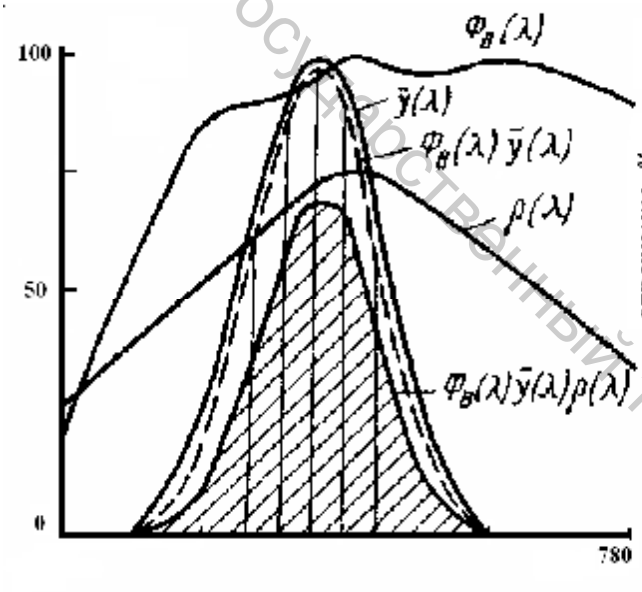


Рис. 26. Графическая иллюстрация к выводу формулы для расчета координаты цвета $\bar{y}$ методом избранных ординат

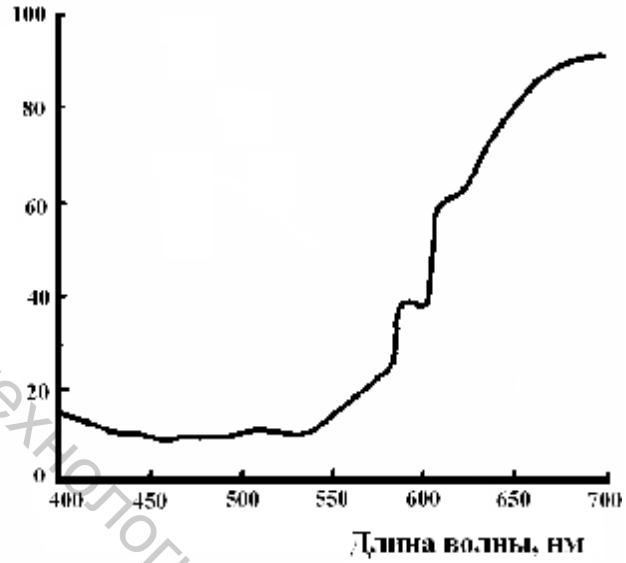


Рис. 27 Спектр отражения окрашенной ткани

Перемножим ординаты кривой $\Phi_B(\lambda)$ на ординаты кривой $\bar{y}(\lambda)$ и построим кривую $\Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)$. Умножив ординаты этой кривой на ординаты кривой $\rho(\lambda)$, построим затем кривую $\Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)\rho(\lambda)$.

С помощью ряда прямых разделим площадь под кривой $\Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)$ на большое число n равных полос. Площадь каждой такой полосы, очевидно, будет равна

$$K_y = \frac{1}{n}\int_{380}^{780} \Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda. \qquad (51)$$

Витебский государственный технологический университет

Проведенные прямые одновременно разделят площадь под кривой $\Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)\rho(\lambda)$ (заштрихованную площадь) на n неравных полос, площадь каждой из которых равна площади K_y, умноженной на среднее значение коэффициента отражения $\rho(\lambda_{iy})$ в пределах соответствующей полосы, которое он принимает при какой-то длине волны λ_{iy}.

При большом числе частей, на которые делится площадь под кривой $\Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)$, можно с достаточной степенью точности принять, что длина волны λ_{iy} не зависит от вида функции $\rho(\lambda)$ и совпадает с той длиной волны, при которой площадь K_y разделится на две равные части. Таким образом, площадь каждой полосы под кривой $\Phi_B(\lambda)\bar{y}(\lambda)\rho(\lambda)$ будет равна $K_{iy} = K_y\rho(\lambda_{iy})$. Вся площадь под этой кривой, соответствующая координате цвета $\bar{y}$, равна сумме площадей отдельных полос

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} K_{iy} = K_y \sum_{i=1}^{n} \rho(\lambda_{iy}). \qquad (52)$$

Определив аналогичным образом площади под кривыми 7 и 9, характеризующие координаты цвета $\bar{x}$ и $\bar{z}$, получим следующие выражения:

$$\bar{x} = K_x \sum_{i=1}^{n} \rho(\lambda_{ix}); \quad \bar{z} = K_z \sum_{i=1}^{n} \rho(\lambda_{iz}), \qquad (53)$$

где K_x и K_z – площади полос под кривыми $\Phi_B(\lambda)\bar{x}(\lambda)$ и $\Phi_B(\lambda)\bar{z}(\lambda)$, равные

$$K_x = \frac{1}{n}\int_{380}^{780} \Phi_B(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda; \; K_z = \frac{1}{n}\int_{380}^{780} \Phi_B(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda,$$

$\rho(\lambda_{ix})$, $\rho(\lambda_{iz})$ – коэффициенты отражения при длинах волн λ_{ix} и λ_{iz}, делящих площади каждой полосы K_x и K_z на две равные части.

Длины волн λ_{ix}, λ_{iy} и λ_{iz} при числе полос, равном 10 и 30, являются известными величинами и приводятся в справочных таблицах.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТА МЕТОДОМ ИЗБРАННЫХ ОРДИНАТ

Рассчитаем характеристики цвета окрашенной ткани относительно источника света С, спектр отражения которой приведен на рис.27.

Поскольку спектрофотометрическая кривая имеет плавный характер, принимаем число "избранных ординат", равным 10.

В справочных таблицах найдем значения длин волн для расчета координат цвета и внесем их в табл.2. По спектру отражения определим значения коэффициентов отражения, соответствующие этим длинам волн, и также внесем их в таблицу.

Витебский государственный технологический университет

Рассчитаем суммы коэффициентов отражения и перемножим их на множители, взятые из справочных таблиц. Полученные произведения равны координатам цвета.

Для определения цветового тона, чистоты и светлоты цвета рассчитаем координаты цветности, используя формулы (9):

$$x = 34{,}3252/68{,}7479 = 0{,}4993;$$

$$y = 22{,}52/68{,}7479 = 0{,}3276;$$

$$z = 11{,}9027/68{,}7479 = 0{,}1731.$$

С помощью цветового графика находим цветовой тон, равный $\lambda = 608{,}5$ нм.

Определим чистоту цвета, используя формулу (45):

$$P = \frac{0{,}338\ (0{,}499 - 0{,}310)}{0{,}327\ (0{,}661 - 0{,}310)} 100 = 55{,}6\ \%.$$

Витебский государственный технологический университет

Таблица 2 – Значения длин волн для расчета координат цвета

Длина волны λ_{ix}, нм	Коэффициент отражения $\rho(\lambda_{ix})$	Длина волны λ_{iy}, нм	Коэффициент отражения $\rho(\lambda_{iy})$	Длина волны λ_{iz}, нм	Коэффициент отражения $\rho(\lambda_{iz})$
1	2	3	4	5	6
435,5	10,4	489,4	9,5	422,2	11,4
461,2	9,7	515,1	10	432	10,5
544,2	12	529,8	9,7	438,6	10,2
564	19	541,4	11,2	444,4	10,2
577,3	22,5	551,7	15	450,2	9,8
588,7	38,5	561,9	18,5	455,9	9,7
599,5	37,5	572,5	21,5	462	9,8
610,8	59	584,8	25,8	468,8	10
624	62,5	600,7	37,5	477,8	9,9
646,2	78,8	627,1	66,5	495,3	9,4
Сумма	349,9	-	225,2	-	100,7
Множитель	0,09807	-	0,1	-	0,11822
Координаты цвета	34,3252	-	22,52	-	11,9027

Светлота цвета равна координате цвета $\bar{y}$, т.е. L = 22,5%.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА
СТАНДАРТНЫЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Всякое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, является источником излучений. При низких температурах тела испускают излучения с большими длинами волн (радиоволны, инфракрасные лучи). Видимое излучение появляется при температуре, близкой к 500°С. С повышением температуры тела увеличивается общее количество излучения, в его спектральном составе возрастает доля коротковолновых излучений. В

Витебский государственный технологический университет

результате увеличивается яркость источника света, его цвет изменяется от красного к желтому и далее к белому и голубовато-белому.

Источниками света являются нагретые тела (Солнце, лампы накаливания) и газоразрядные лампы.

Одной из характеристик источников света является цветовая температура (T_c).

Цветовой температурой источника света называется такая температура абсолютно черного тела, при которой цвет его излучения совпадает с цветом излучения данного источника. Поскольку спектральный состав излучения абсолютно черного тела вполне определенно связан с его температурой, а по спектральному составу можно охарактеризовать цвет излучения, по величине цветовой температуры источника света можно судить о цвете его излучения.

Моделью абсолютно черного тела является внутренняя поверхность пустотелого шара с небольшим отверстием. Если даже внутренняя поверхность такого тела имеет и не очень высокий коэффициент поглощения, пучок света, попадающий через отверстие внутрь шара, в результате многократного внутреннего отражения полностью поглотится поверхностью. Излучение, испускаемое внутренней поверхностью такого шара, наблюдаемое через небольшое отверстие, будет близким к излучению абсолютно черного тела. Состав излучения абсолютно черного тела не зависит от природы вещества, а определяется только его температурой.

Зависимость между спектральным составом и температурой абсолютно черного тела представлена на рис. 28, из которого видно, что с ростом температуры наблюдается увеличение мощности испускаемого излучения, а длина волны, на которую приходится максимальное излучение, смещается в сторону более коротких волн.

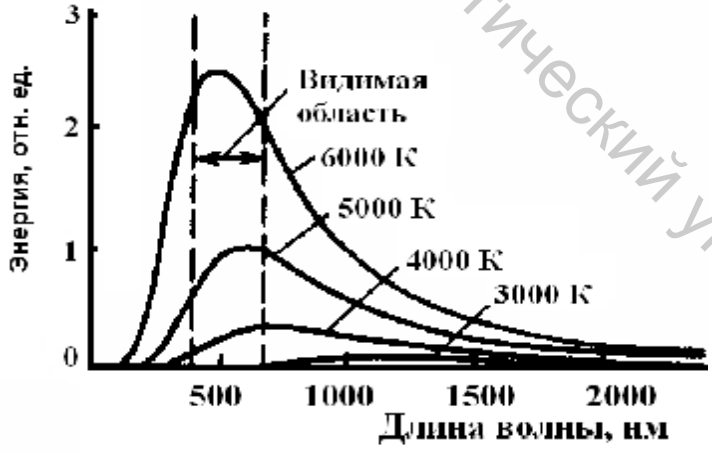


Рис. 28. Изменение спектрального состава и мощности излучения абсолютно черного тела в зависимости от температуры

Источником дневного света является Солнце, излучение которого за пределами атмосферы очень близко к излучению абсолютно чёрного тела с

Витебским государственным технологический университет

температурой 6560 К. Проходя через атмосферу, солнечный свет претерпевает значительные изменения в спектральном составе из-за избирательного поглощения и рассеяния небосводом. Суммарный дневной свет в зависимости от времени года, дня и погодных условий может иметь различные цветовые температуры, промежуточные между прямым солнечным светом и светом небосвода. Свет чистого небосвода является голубым, цветовая температура для него T_c = 10000 – 30000 К. Для прямого солнечного света (при отсутствии света небосвода) T_c = 5200 К.

В лампах накаливания светящимся телом является раскаленная нить из вольфрама. Так же как и солнце, лампы накаливания имеют непрерывный спектр излучения. Различают несколько видов ламп накаливания: осветительные, фотолампы, кинопроекционные и йодно-кварцевые. Цветовая температура осветительных ламп мощностью 25 – 100Вт составляет 2500 – 2800К. Фотолампы, кинопроекционные и йодно-кварцевые лампы имеют более высокий световой поток и световую отдачу. Их цветовая температура 3200 – 3400К.

В газоразрядных лампах источником света является газ или пары металлов, которые дают излучение под действием проходящего через них электрического тока. Это излучение используется либо непосредственно (в ртутных и ксеноновых лампах), либо для возбуждения свечения люминофора (в люминесцентных лампах).

Ртутно-кварцевые лампы имеют излучение с линейчатым спектром (рис. 29). Несмотря на то, что в видимой части спектра эти лампы испускают только ряд монохроматических излучений желтого, зеленого, сине-фиолетового и фиолетового цвета, суммарное их действие на глаз вызывает ощущение белого света.

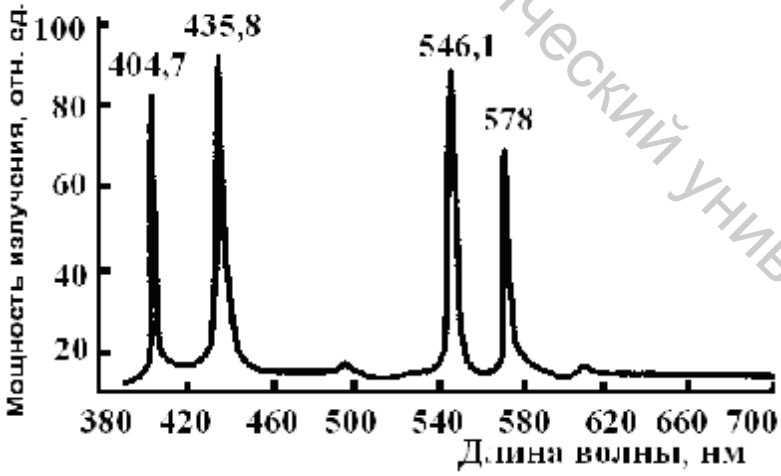


Рис. 29. Спектральный состав излучения ртутной лампы высокого давления

В люминесцентных лампах на внутренние стенки стеклянных трубок нанесен слой люминофора. Под действием ультрафиолетового излучения паров

Витебский государственный технологический университет

ртути (λ_1 = 184,9нм и λ_2 = 253,7нм) люминофор испускает лучи, относящиеся к видимой части спектра. Излучение люминофора имеет непрерывный спектр. В целом спектр излучения люминесцентных ламп смешанный. На непрерывный спектр свечения люминофора накладывается линейчатый спектр видимого излучения ртути.

В связи с разнообразием спектрального состава излучений источников света изменение цвета несамосветящихся тел необходимо проводить при строго стандартных условиях.

В качестве источников света для целей колориметрии МКО рекомендовала в 1931 г. четыре стандартных источника света, названные А, В, С, Е.

Первый источник – источник А, представляет собой лампу накаливания с вольфрамовой нитью, на которую подается определенное напряжение. Цветовая температура источника А равна 2854 К.

Источники света В и С получают путем пропускания излучения от стандартного источника А через жидкие светофильтры, состав и рецептура которых зафиксирована в рекомендациях МКО 1931г. Их цветовая температура равна соответственно 4800 К и 6500 К. При этих температурах источники света В и С приближенно воспроизводят относительные спектры излучения абсолютно черного тела.

Примерный спектральный состав источников света представлен на рис. 6.

Источник Е – источник равноинтенсивного излучения (источник идеально белого света), спектральный состав которого характеризуется прямой, параллельной оси абсцисс (на рис. 30 не приводится). Для этого источника все три координаты цвета в любой системе измерения равны.

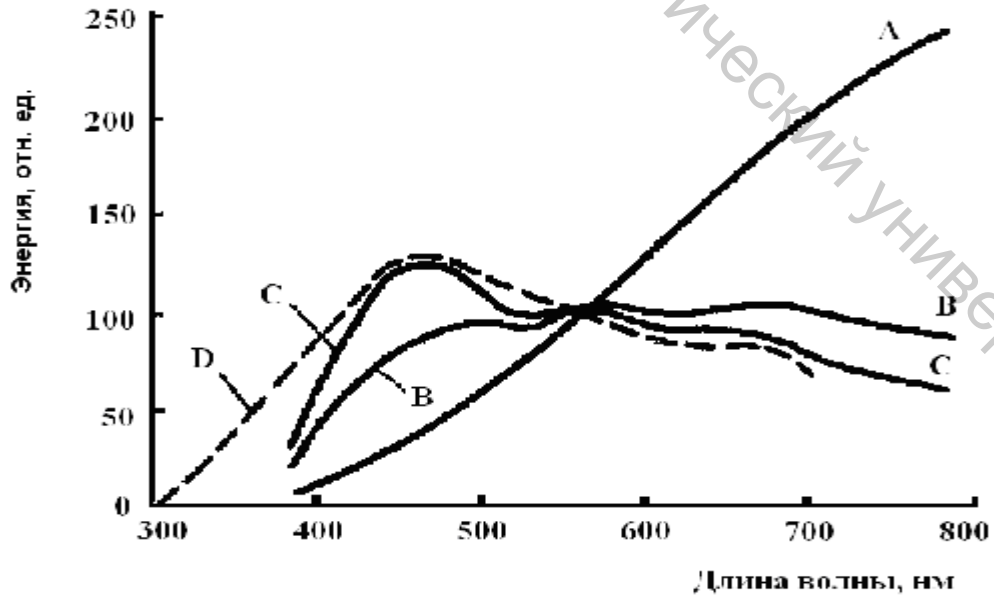


Рис. 30. Спектральный состав излучения стандартных источников света.

Витебский государственный технологический университет

Для получения источников света В и С разработаны более удобные для практики стеклянные светофильтры, которые к тому же значительно точнее воспроизводят относительное распределение энергии в спектре абсолютно черного тела при температурах 4800 и 6500К. Спектральный состав источников В и С близок составу естественного света. Источник света В воспроизводит условия прямого солнечного света, а источник С – естественный цвет, идущий от небосвода. Поэтому, если необходимо получить характеристики цвета тел при естественном освещении, применяют источники В и С. Стандартный источник А используется для характеристики цвета тел при искусственном освещении.

В связи с широким применением люминесцирующих красителей (особенно для повышения белизны текстильных материалов, для рекламы и театральных эффектов) для измерения белизны и цветовых характеристик тел, на которые нанесены такие красители, принят стандартный источник D. Цветовая температура этого источника 6500К, но в отличие от источника С он имеет излучение в ультрафиолетовой части спектра. Для воспроизведения источника D применяются кварцевая лампа накаливания, содержащая пары йода, или ртутная лампа, излучения от которых пропускаются через специальные светофильтры.

РАЗДЕЛ 3. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦВЕТА

ОПТИЧЕСКОЕ СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

Опыты по смешению цветов легли в основу учения о цветовых ощущениях. Смешивая монохроматические излучения, расположенные в спектре недалеко друг от друга в разных соотношениях, можно получить промежуточные цветовые тона, менее насыщенные по сравнению со спектральными. Смешение монохроматических излучений красного и фиолетового концов спектра приводит к получению пурпурных цветов, отсутствующих в спектре.

Определенный выбор трех основных спектральных излучений и смешение их в соответствующих пропорциях обеспечивают получение всего многообразия цветовых тонов. Однако любой выбор исходных цветов не позволяет получить все цветовые тона максимальной насыщенности.

Оптимальный результат может быть достигнут, если в качестве основных принять красный, зеленый и сине-фиолетовые цвета.

Опыты по воспроизведению всех цветовых тонов спектра из смеси трех монохроматических излучений были проведены Максвеллом. За основные цвета Максвелл принял красный (λ = 630 нм), зеленый (λ = 528нм) и синий (λ = 457нм). Меняя интенсивность каждого из них, ему удалось получить в результате их смешения белый цвет, который характеризуется следующим уравнением:

Витебский государственный технологический университет

$$Б = a\,К + b\,З + c\,С,$$

где Б – белый цвет; a, b, c – соответствующие количества красного (К), зеленого (З) и синего (С) составляющих.

Белый цвет может быть получен из смеси, в которой один из основных цветов может быть не красный, как в предыдущем случае, а, например, желтый (Ж). В этом случае получим новое уравнение:

$$Б = a' Ж + b' З + c' С,$$

где a', b' ,c' – соответствующие количества взятых составляющих желтого, зеленого и синего цветов.

Подставив вместо белого (Б) цвета его значение из предыдущего равенства, получим:

$$a' Ж = a\,К + (b - b')\,З + (c - c')С,$$

откуда

$$Ж = \frac{a}{a'}К + \frac{b-b'}{a'}З + \frac{c-c'}{a'}С.$$

Таким же путем можно выразить любой спектральный цвет Ц через сумму трех основных составляющих:

$$Ц = a\,К + b\,З + c\,С.$$

Проведенные опыты смешения монохроматических излучений показали, что коэффициент при одном из основных составляющих получается для ряда цветов отрицательным. Это указывает, что определяемый цвет не может быть воспроизведен с данной насыщенностью сложением красного, зеленого и синего. Равенство может быть достигнуто, когда к определяемому цвету для уменьшения его насыщенности добавляется один из основных цветов, например:

$$Ц + c\,С = a\,К + b\,З.$$

Результаты, полученные Максвеллом, можно представить графически в виде цветового треугольника (рис. 31). В углах равностороннего треугольника, обозначенного пунктиром, помещены основные составляющие К, З, С в количествах, необходимых для получения белого цвета при их смешении. Место каждого цвета в треугольнике определяется способом нахождений общего центра тяжести.

Восстановленная вертикаль из угла треугольника, отвечающего красному цвету, является осью координат *y*, а горизонталь, идущая из той же точки, – осью x. Каждая из сторон треугольника принята равной единице.

При этих условиях положение любого цвета определяется из следующих уравнений:

$$y = \frac{\sqrt{\frac{3}{4}}З}{К+З+С}; \qquad x = \frac{0{,}5З+С}{К+З+С}.$$

Витебский государственный технологический университет

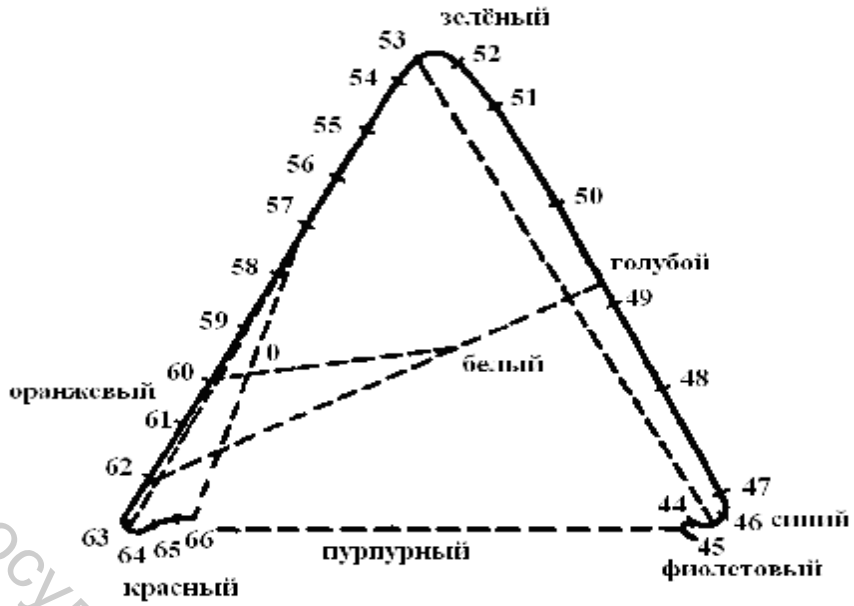


Рис. 31. Цветовой треугольник

Найденные по этим уравнениям монохроматические спектральные цвета, обозначенные соответствующими длинами волн, выражены сплошной линией. На рис. 31 показано, что все спектральные цвета располагаются вне треугольника. Это свидетельствует об их более высокой насыщенности по сравнению с цветами, полученными в результате смешения К, З и С. Если смешивать два цвета, например, красный с длиной волны λ = 660нм и желтый с длиной волны λ = 570 нм в равных количествах, то результирующий цвет будет выражен точкой О на середине прямой, соединяющей эти две точки в треугольнике. Цветовой тон результирующего цвета определяется точкой на кривой спектральных цветов, полученной при ее пересечении с прямой, проходящей через точку белого и найденного цвета. Чем ближе найденная точка цвета к кривой спектральных цветов, тем более насыщен цвет. Если прямая, соединяющая две точки смешиваемых цветов, проходит через точку белого, то такие цвета при определенных соотношениях интенсивностей дают белый цвет и являются дополнительными.

На рис. 31 показаны такие цвета: красный (620нм) и зеленовато-голубой (492нм).

Полученные Максвеллом результаты могут быть также представлены в виде кривых сложения основных раздражителей (рис. 32).

Витебский государственный технологический университет

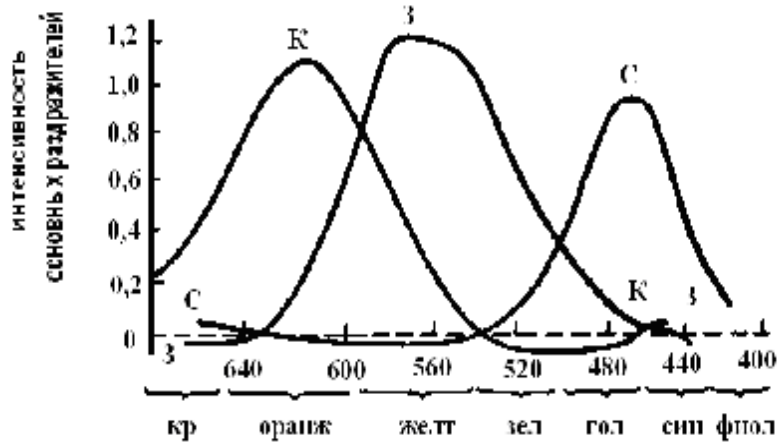


Рис. 32. Кривые сложения основных раздражителей (по Максвеллу)

На оси абсцисс отложены длины волн в нм, а на оси ординат – интенсивности излучения основных составляющих в относительных единицах, красного, зеленого и синего, которые необходимы для получения соответствующих спектральных цветов. В некоторых местах положение кривых (см. рис. 32) таково, что они проходят ниже нуля. Это означает, что при получении ряда спектральных цветов смешением из трех основных составляющих один из них входит в уравнение с отрицательным знаком. Если принять в качестве основных составляющих цвета более насыщенные, чем спектральные, то кривые сложения не будут иметь отрицательных ординат.

Дневной свет воспринимается как белый, поскольку все три раздражения приемников одинаковы в отличие от источника света ламп накаливания. В лампах накаливания красные и зеленые компоненты имеют некоторый перевес над синим, что и обусловливает желтоватый оттенок света.

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЦВЕТА

АДДИТИВНЫЙ СИНТЕЗ

Аддитивным синтезом называется метод, при котором образование различных цветов происходит в результате оптического смешения двух или нескольких световых потоков.

Данный метод образования цвета имеет место при одновременном или быстром поочередном проецировании с помощью проекционных аппаратов двух или нескольких цветных лучей на одну и ту же площадь экрана. Оптическое смешение цветов происходит и при вращении диска с разноцветными секторами с частотой вращения примерно 30 $с^{-1}$. Различные цвета при этом сливаются в один, и цвет диска воспринимается как однотонный. Образование цветов, происходящее вследствие быстрого

Витебский государственный технологический университет

вращения диска или чередования излучений, относится к ***временному оптическому смешению***. Следует отметить, что при недостаточной скорости вращения диска или недостаточной частоте чередования излучений на экране временного оптического смешения цветов наблюдаться не будет, а будет происходить лишь мелькание цветов.

Аддитивный метод образования цвета наблюдается также при рассматривании с определенной дистанции поверхности, покрытой мелкими цветными точками, штрихами или полосками. Если угловой размер этих деталей находится за пределами разрешающей способности глаза, вместо отдельных цветных элементов наблюдается однотонная поверхность, цвет которой образован смешением исходных цветов. Данный вид смешения цветов называется ***пространственным оптическим смешением.***

Результирующий цвет, образуемый при оптическом смешении цветов, приближенно удобно определять с помощью цветового круга. Цветовой круг представляет собой окружность, на которую нанесены точки, соответствующие основным цветам: красному, оранжевому, желтому, зеленому, голубому, синему, фиолетовому, а также пурпурному цвету (рис. 33).

Центр круга соответствует белому цвету. Цветовой круг применим как для случая смешения монохроматических излучений, так и смешения излучений со сложным спектральным составом.

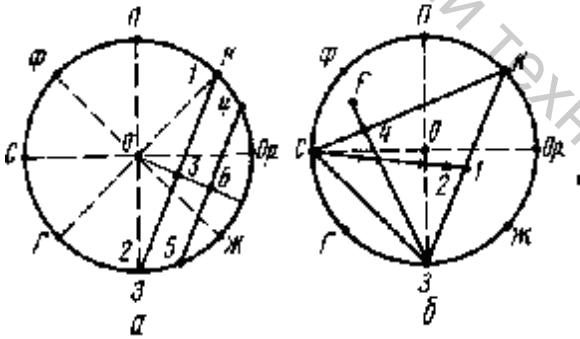


Рис. 33. Определение результирующего цвета при оптическом смешении цветов с помощью цветового круга

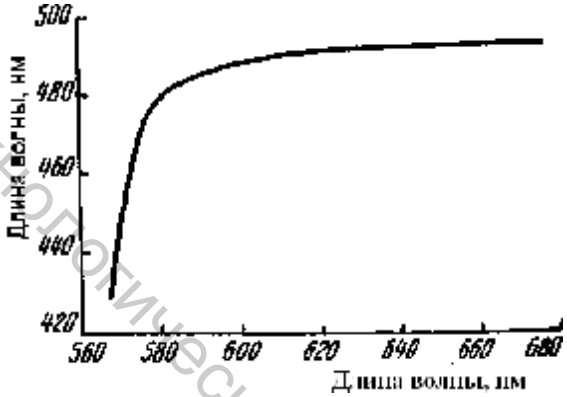


Рис. 34. График зависимости цветового тона дополнительных излучений от длины волны их излучений

Для определения результирующего цвета при смешении двух спектральных цветов необходимо соединить прямой линией точки, соответствующие этим цветам. Затем разделить прямую на две части, пропорциональные яркостям смешиваемых цветов. Полученная точка на прямой будет характеризовать результирующий цвет. Для определения его цветности из центра круга через данную точку проводится прямая до

Витебский государственный технологический университет

пересечения с окружностью. По положению точки внутри круга качественно оценивается чистота цвета.

Допустим, что смешиваются красный и зеленый цвета, обозначенные на рис. 3За точками 1 и 2. При равных яркостях этих цветов точка, характеризующая результирующий цвет (точка 3), будет лежать на середине прямой 1 – 2. Проведем прямую, соединяющую точку 3 с центром круга. Найдем, что результирующий цвет будет желто-оранжевый. Желто-оранжевый цвет может быть получен и из другой пары цветов, а именно из оранжево-красного (точка 4) и желто-зеленого (точка 5), взятых в равных соотношениях. Результирующий цвет в этом случае будет характеризоваться точкой 6. Несмотря на то, что в обоих случаях получается один и тот же по цветовому тону цвет, эти цвета будут отличаться друг от друга по чистоте. Установлено, что чем дальше точка результирующего цвета отстоит от центра круга, тем большую чистоту имеет цвет. Сравнивая между собой местонахождение точек 3 и 6, видим, что точка 3 ближе расположена к центру круга (точке белого цвета), из чего следует, что цвет, получающийся при смешении красного и зеленого, имеет меньшую чистоту, чем цвет смеси оранжево-красного и желто-зеленого.

Нетрудно видеть, что взяв красный и зеленый цвета в различных соотношениях, можно получить из них красно-оранжевые, оранжевые, желтые и желто-зеленые цвета, т.е. все цвета, расположенные на окружности между красным и зеленым. Если смешивать синий с зеленым, будут получаться голубые цвета, а при смешении синего с красным образуются фиолетовые и пурпурные цвета.

Однако не всегда при смешении двух цветов будут получаться хроматические цвета. Оптическое смешение определенных пар цветов, называемых дополнительными, приводит к получению ахроматических цветов. Так, при смешении красного и голубого при соотношении их яркостей 1:1 точка результирующего цвета оказывается в центре круга, из чего следует, что получающийся цвет будет ахроматическим. Ахроматические цвета получаются также и при смешении в определенных соотношениях многих других пар цветов. Например, оранжевого и синего, желтого и фиолетового. Если необходимые соотношения яркостей не соблюдаются, при смешении дополнительных цветов получается хроматический цвет, являющийся смесью ахроматического и того хроматического, который взят в избытке. Следует отметить, что, поскольку цветовой круг является простейшей графической формой, иллюстрирующей закономерности оптического смешения цветов, указанные пары дополнительных цветов следует принимать как приближенные. Это относится и к соотношениям яркостей цветов, при которых они образуют ахроматические цвета.

Точные значения цветового тона дополнительных цветов можно определить по кривой, представленной на рис. 34. Рассматривая кривую, можно убедиться, что для цветов от синего (с длиной волны 493) до желто-зеленого (с длиной волны 567 нм) дополнительных цветов нет. Так получается потому, что

Витебский государственный технологический университет

дополнительными к этим цветам являются пурпурные, не имеющие соответствующих монохроматических в спектре. Следует подчеркнуть, что приведенная зависимость распространяется как на монохроматические, так и на сложные излучения.

Точное значение цветового тона дополнительных пар цветов может быть найдено и с помощью цветового графика МКО, принцип построения и применение которого будет рассмотрен далее. Используя этот график, можно рассчитать и количественные соотношения яркостей дополнительных цветов, при которых получаются ахроматические цвета.

Из рассмотренного материала вытекают следующие основные положения, характерные для оптического смешения цветов.

1. Каждому хроматическому цвету соответствует другой хроматический, который при смешении с ним в определенной пропорции дает ахроматический цвет. Такие два цвета называются дополнительными.

2. При смешении дополнительных цветов не в той пропорции, которая необходима для получения ахроматического цвета, получается хроматический цвет того же цветового тона, что и цвет, взятый в избыточном количестве.

3. При смешении не дополнительных цветов получаются цвета, промежуточные по цветовому тону между смешиваемыми. При этом, чем ближе смешиваемые цвета друг к другу по цветовому тону, тем выше чистота образующегося цвета.

В результате изучения оптического смешения цветов немецким математиком Грассманом в середине XIX в. сформулированы следующие три закона.

Первый закон. Любые четыре цвета находятся в линейной зависимости, хотя существует неограниченное число линейно независимых совокупностей из трех цветов. Иначе говоря, каждый цвет может быть выражен через три линейно независимых цвета, а количество триад линейно независимых цветов бесконечно велико.

Линейно независимыми цветами называются такие три цвета, каждый из которых не может быть получен смешением двух других. К числу таких цветов относятся красный, зеленый, синий, желтый, голубой и пурпурный. Существует бесконечное множество и других триад линейно независимых цветов.

Если принять в качестве линейно независимых цветов красный, зеленый и синий, первый закон оптического смешения можно записать в виде следующего цветового уравнения:

$$F = \overline{к}К + \overline{з}З + \overline{с}С,$$

где F – произвольный цвет; К,З,С – излучения красного, зеленого и синего цветов; $\overline{к}, \overline{з}, \overline{с}$ – множители, показывающие количества смешиваемых излучений К, З, С, обеспечивающие получение цвета, тождественного по визуальному восприятию цвету F.

Витебский государственный технологический университет

Следует отметить, что знак равенства в приведенном выше уравнении означает только тождественность впечатлений, вызываемых цветом F и смесью излучений К, З, С, но не говорит о равенстве их спектральных составов или равенстве лучистых потоков.

Чтобы лучше уяснить смысл первого закона и цветового уравнения, рассмотрим оптическое смешение трех цветов: красного, зеленого и синего. Определим результирующий цвет при смешении этих цветов в соотношении К:З:С=3:3:1. От смешения равных количеств красного и зеленого будет получаться цвет, лежащий на середине прямой КЗ (рис. 3Зб, точка 1) . Если к полученному цвету добавить теперь синий, то для нахождения точки результирующего цвета надо соединить точку С с точкой 1 и полученную прямую разделить на 7 частей. Как видно из рис. 3Зб точка результирующего цвета (точка 2) лежит внутри треугольника КЗС. При смешении цветов К, З, С в других соотношениях результирующий цвет также всегда будет представлен точкой, находящейся внутри треугольника.

Следовательно, от смешения цветов К,З,С в любых соотношениях будут получаться цвета, местонахождение которых на цветовом круге определяется площадью треугольника.

А при каких же условиях может быть получен, например, цвет, соответствующий точке F? При смешении цветов красного и синего можно получить такой же по цветовому тону цвет, но чистота его будет ниже, чем у цвета F. Если же к цвету F добавить некоторое количество зеленого цвета, то можно получить цвет, которому соответствует точка 4. Этот новый цвет будет иметь меньшую чистоту; такой цвет может быть получен в результате смешения определенных количеств цветов К и С. Для данного случая можно записать следующее цветовое уравнение:

$$F + \bar{з}З = \bar{к}К + \bar{с}С \quad \text{или} \quad F = -\bar{з}З + \bar{к}К + \bar{с}С,$$

где $\bar{к}$ и $\bar{с}$ – количества цветов К и С, в результате оптического смешения которых получается такой же цвет, который образуется при добавлении к цвету F зеленого цвета в количестве, равном $\bar{з}$.

Таким образом, хотя цвет F невозможно получить в результате смешения цветов К, З, С, он, однако, может быть выражен определенными количествами этих цветов, причем количества цветов К и С будут положительными, а количество цвета З – отрицательной величиной.

Аналогично цвету F и все остальные цвета, лежащие вне треугольника КЗС, могут быть выражены определенными количествами линейно независимых цветов К, З, С, причем цвета, лежащие вне треугольника, за стороной КЗ, будут иметь отрицательные значения коэффициента $\bar{с}$, расположенные за стороной КС – отрицательные значения $\bar{з}$, находящиеся за стороной ЗС – отрицательные значения $\bar{к}$.

Второй закон. Непрерывному изменению излучения соответствует также непрерывное изменение цвета.

Витебский государственный технологический университет

Этот закон устраняет возможность существования какого-то отдельного цвета, не примыкающего непосредственно к цветам смешиваемых излучений. Так, в случае смешения излучений красного и зеленого цвета при постепенном изменении соотношения их мощностей будет наблюдаться непрерывное изменение цвета.

Третий закон. Цвет смеси зависит только от цвета смешиваемых компонентов и не зависит от их спектральных составов.

Из этого закона следует, что если каждый из двух визуально одинаковых цветов смешивается с третьим, то независимо от того, каков спектральный состав этих двух цветов, результирующий цвет в обоих случаях будет одинаковым.

Законы оптического смешения цветов являются основой колориметрии. Благодаря установлению первого закона смешения стало возможным создание системы, позволяющей выражать все цвета через количества трех линейно независимых цветов.

Второй закон оптического смешения служит основой для проведения математических расчетов по определению результирующего цвета при сложении нескольких цветов.

СУБТРАКТИВНЫЙ СИНТЕЗ

Субтрактивный синтез – метод, при котором образование цвета происходит вследствие избирательного поглощения части излучений из потока падающего на тело света.

Примером цвета, образованного по субтрактивному методу, является цвет, получающийся при прохождении светового потока через несколько различно окрашенных сред (например, цветных пленок) или при прохождении через раствор, содержащий несколько красителей. Каждое красящее вещество обладает определенными светопоглощающими свойствами и поэтому при прохождении через них светового потока из него частично или полностью поглощается часть излучений.

Субтрактивный метод синтеза цвета лежит в основе современных способов цветной фотографии и кинематографии, трехцветной печати. По этому методу образуется цвет материалов, окрашенных несколькими красителями. За счет использования трех красящих веществ желтого, голубого и пурпурного цвета субтрактивным методом можно получить большое число различных цветов. Особенно широкая гамма цветов получилась бы в том случае, если эти красители были бы идеальными. В отличие от реальных такие красители характеризуются не плавным изменением коэффициента пропускания τ, а скачкообразным, при этом излучения каждой из трех зон спектра или полностью поглощаются ($\tau = 0$), или полностью пропускаются ($\tau = 100\%$). Например, желтый краситель целиком поглощает лучи синей зоны спектра и полностью пропускает лучи красной и зеленой зон. Красители,

Витебский государственный технологический университет

обладающие такими спектрами пропускания, являются идеальными для различных процессов воспроизведения цвета и обеспечивают получение при смешении практически любого цвета.

Рассмотрим несколько вариантов, когда через цветные пленки, окрашенные идеальными красителями, пропускается пучок белого света (рис.35).

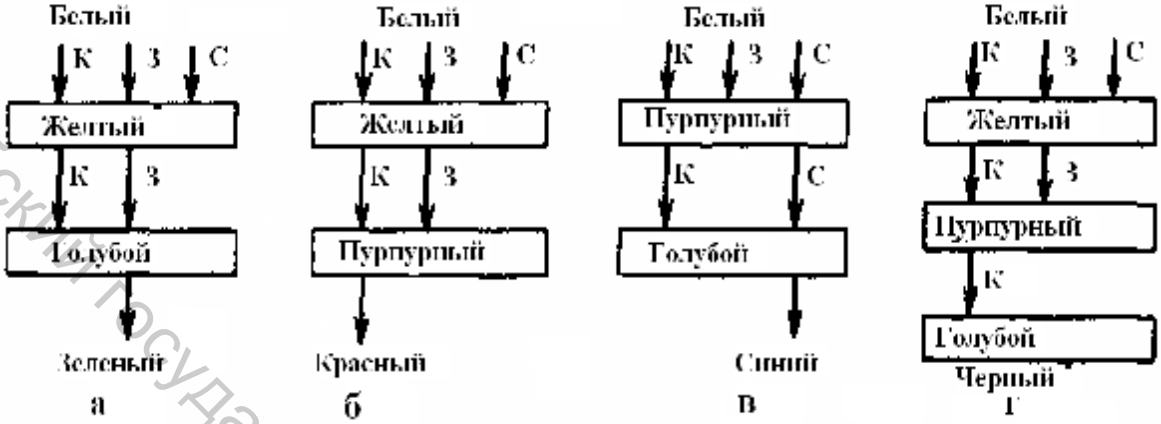


Рис. 35. Схема образования цвета субтрактивным методом при использовании идеальных красителей

При прохождении белого света, содержащего в равных количествах излучения всех трех зон спектра, через желтую пленку, синяя зона спектра будет поглощена. На голубую пленку попадут лучи только двух зон – зеленой и красной (рис. 35а). В свою очередь голубая пленка поглотит лучи красной зоны спектра. В результате прошедший через обе пленки пучок света будет содержать лучи лишь зеленой зоны.

При последовательном прохождении белого света через желтую и пурпурную пленки (рис. 35б) будет получаться красный цвет, а при прохождении через пурпурную и голубую – синий (рис. 35в).

При прохождении белого света последовательно через желтую, голубую и пурпурную пленки (рис. 35г) происходит поглощение лучей всех трех зон и результирующий цвет будет черным.

Использование этих красителей в меньших концентрациях, при которых свет не поглощается полностью в соответствующих зонах, обеспечит при их попарном применении получение оранжевых, желто-зеленых, зелено-голубых и прочих цветов.

Если же белый свет пропускать через красную и зеленую пленки, то будет наблюдаться полное поглощение света – результирующий цвет будет черным. Аналогичный результат наблюдается при попарном использовании красной и синей, а также зеленой и синей пленок.

Таким образом, широкая гамма цветов при субтрактивном синтезе может быть получена в случае использования желтого, голубого и пурпурного цветов, вследствие чего эти цвета принято считать основными цветами субтрактивного синтеза.

Витебский государственный технологический университет

При использовании не идеальных, а реальных красителей, спектры пропускания которых характеризуются отсутствием полного поглощения и пропускания в любой из зон спектра, палитра получаемых цветов сужается. Попарное смешение желтого, голубого и пурпурного красителей приводит к получению не столь чистых и ярких цветов, а смесь этих трех красителей не обеспечивает получения ахроматического цвета. При попарном же смешении реальных красителей красного, зеленого и синего цветов получаются не ахроматические, а цвета желтых, голубых и пурпурных цветовых тонов. Однако образующиеся цвета будут темными, и чем ближе исходные красители к идеальным, тем темнее будут получаться цвета от их смешения.

Для определения результирующего цвета субтрактивного синтеза при использовании прозрачных сред определяется спектральный состав его светового потока, который находится перемножением значений мощности монохроматических лучей в спектре источника света на коэффициенты пропускания этих лучей цветными телами, участвующими в образовании цвета.

На основании спектрального состава результирующий цвет может быть выражен через цветовой тон, чистоту и светлоту.

Цвет поверхностей непрозрачных тел и материалов определяется спектральным составом отраженного от них светового потока, попадающего в глаз. Окраска таких тел достигается или за счет нанесения на их поверхность слоя краски, представляющей собой композицию одного или нескольких пигментов и связующего вещества, или за счет окрашивания, в результате которого краситель распределяется в окрашиваемом субстрате.

Цвет поверхностей непрозрачных тел и материалов в большинстве случаев не является результатом субтрактивного метода в чистом виде, как это наблюдается для прозрачных сред (например, светофильтров). Падая на окрашенную поверхность, световой поток частично отражается от верхнего слоя без изменения цвета, остальная же часть потока света входит в слой красящего вещества и, пройдя его полностью или частично, отражается в обратном направлении. Цвет окрашенной поверхности, таким образом, образуется в результате оптического смешения светового потока, отраженного от поверхностного слоя и потока, вышедшего после прохождения красочного слоя.

Главным фактором, определяющим цвет поверхностей непрозрачных предметов и материалов, является характер избирательного поглощения световых лучей и спектральный состав света источника освещения. Наряду с этими факторами, цвет зависит также от характера освещения, степени неровности поверхности, оптической однородности слоя краски или окрашенного материала, толщины и прозрачности красящего слоя, а также от условий наблюдения.

Если слой краски достаточно прозрачен и небольшой толщины, свет проходит через него и, отразившись от непрозрачного материала, выходит в сторону источника освещения. В этом случае спектральный состав вышедшего

Витебский государственный технологический университет

светового потока, а следовательно, и его цвет зависят как от свойств краски, так и от свойств неокрашенного материала.

Если же слой краски толстый, а сама краска малопрозрачная (кроющая), отражение светового потока в обратную сторону будет происходить в основном в слое краски и, следовательно, цвет такой поверхности будет зависеть только от свойств самой краски.

Если освещение рассеянное, а поверхность шероховатая, то свет, отраженный поверхностью, равномерно распределяется по всем направлениям. И в каком бы направлении мы ни рассматривали поверхность, поверхностно отраженный свет будет равномерно примешиваться к световому потоку, отраженному из глубинных слоев поверхности.

Если свет направленный, а поверхность гладкая, поверхностно отраженный свет имеет вполне определенное направление. При определенном направлении рассматривания поверхностно отраженный световой поток не будет попадать в глаз и цвет поверхности будет определяться только световым потоком, прошедшим светопоглощающую среду.

Если светопоглощающая среда состоит из оптически неоднородных веществ, то свет по мере его прохождения в глубь слоя частично поглощается, а частично отражается от поверхностей раздела этих сред, и в сторону наблюдателя выходят световые потоки, отраженные с различных глубин слоя.

Текстильные материалы являются оптически неоднородной средой. Примерно 1-3% падающего на окрашенные материалы светового потока отражается от его поверхности, а остальная часть отражается от многочисленных поверхностей раздела фаз, проходя различный путь в светопоглощающей среде. Цвет таких материалов зависит от глубины проникания красителя в волокна, а в случае использования смесей красителей – и от характера их распределения по толще волокна. Более сильное влияние на цвет ткани оказывает тот краситель, который располагается в поверхностных слоях ткани и волокон.

В силу влияния перечисленных выше факторов на цвет непрозрачных материалов определение спектрального состава результирующего излучения путем перемножения значений мощности монохроматических лучей в спектре источника света на коэффициенты отражения этих лучей цветными поверхностями, окрашенными индивидуальными красителями, не обеспечивает достаточной точности.

СМЕШЕНИЕ КРАСОК

Необходимо хорошо уяснить себе разницу между смешением красок и сложением спектральных цветов. При сложении трех основных спектральных цветов – красного, зеленого и синего – получается ***белый цвет***. Смешение основных красок – красной, желтой и синей – дает краску ***черного цвета***.

Витебский государственный технологический университет

Складывая желтый и синий спектральные цвета, мы получаем белый цвет, так как эти цвета дополнительные. Однако, смешивая желтую и синюю краски, мы получаем зеленую краску. Объясняется это тем, что желтая краска отражает (рассеивает) только смесь желтого и зеленого света, все другие цвета ею поглощаются. Синяя краска отражает свет только синего и зеленого цвета, свет других цветов поглощает. При смешивании желтой краски с синей получается краска зеленого цвета, так как отражается только свет зеленого цвета.

РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕНИЯ О ЦВЕТЕ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

ЦВЕТ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Окружающий нас мир красочен. Это объясняется сложностью солнечного света. Но как объяснить, что листья растений мы видим зелеными, подсолнечник – желтым, василек – синим, писчую бумагу – белой? Обратимся к опыту.

Получим на экране с помощью треугольной стеклянной призмы спектр и закроем его лентой красного цвета. Мы увидим, что только в красной части спектра лента выглядит ярко-красной. Во всех других частях спектра она черная. Это происходит потому, что лента, на которую падает свет всех спектральных цветов, отражает только красный свет, а свет других цветов поглощает.

Если проделать такой опыт с зеленой лентой, то окажется, что она только в зеленой части спектра выглядит ярко-зеленой. В других частях спектра она темная.

Таким образом, опыт показывает, что цвет тела, освещаемого белым светом, зависит от того, свет какого цвета это тело рассеивает.

Если тело равномерно рассеивает все составные части белого света, то при обычном освещении оно кажется белым, например писчая бумага. Если тело, например сажа, поглощает весь падающий на него свет, то оно кажется черным.

Различные тела не только неодинаково рассеивают свет различной цветности, но также неодинаково и пропускают свет сквозь себя. Поэтому, когда мы рассматриваем прозрачные тела на просвет, то они кажутся нам различно окрашенными. Если тело, например, пропускает свет синего цвета, то оно нам кажется синим. Такие прозрачные тела называют ***светофильтрами.***

Восприятие цвета в текстильной промышленности играет решающую роль при оценке качества изделия. Над внешним видом текстильных изделий работают как художник, так и колорист. Успех этой работы во многом зависит от знания законов цветоведения.

Кроме рисунка и красок, на восприятие цвета влияет строение ткани

Витебский государственный технологический университет

(фактура). Так, восприятие цвета капроновой и шерстяной тканей, окрашенных одним и тем же красителем, будет различно.

Восприятие капрона связано с представлением о легкой, прозрачной ткани с четким рисунком переплетения, восприятие шерсти – с непрозрачной тяжелой тканью. Такие ассоциации имеют место при характеристике текстильных материалов; например, говорят о легких, прозрачных либо о тяжелых цветах.

Ткани из одного и того же волокна, но с разным ткацким рисунком воспринимаются различными по цвету даже тогда, когда они окрашены одним и тем же красителем. Неровности крашения и мелкие дефекты ткачества очень заметны на окрашенном материале, так как восприятие цвета таких участков ткани будет резко отличаться от восприятия цвета мест, не имеющих указанных недостатков.

Восприятием цвета можно управлять, сосредоточивая свое внимание на цвете или фактуре материала. Так, если окрасить ткань в цвет, который «не бросается в глаза», то внимание наблюдателя сосредоточится на рисунке ткани. Чтобы «скрыть фактуру», ткань красят в насыщенные, близкие к спектральным цвета, например, грубошерстяные изделия красят в яркие красные или фиолетовые цвета.

Используемые в жизни ассоциации указывают на неотделимость восприятия цвета от других зрительных восприятий. Например, цвета красный, оранжевый, желтый и травянисто-зеленый воспринимаются как «теплые», ассоциируясь с представлением о нагретых телах, имеющих большой вес. Восприятие синего, сине-зеленого, фиолетового и пурпурного цветов ассоциируется с холодом, прозрачностью, воздушностью, и эти цвета называют «холодными».

Очень большое значение для восприятия цвета имеют глянец и блеск. Так, восприятие цвета матовых изделий довольно резко отличается от восприятия того же цвета изделий с блестящей или глянцевой поверхностью: на разноотражающих поверхностях наблюдается «игра» светотеней и рефлексов (вторичных отражений), что естественно приводит к резкому изменению восприятия цвета.

ВЫБОР ЦВЕТА ОКРАСКИ ТКАНИ

Цвет придается ткани двумя основными методами:

а) крашением ткани в какой-либо один цвет;

б) печатанием — нанесением на поверхность ткани цветного узора или рисунка. Кроме того, используются методы получения меланжевых и пестротканых изделий: применение волокон разных цветов и использованием пряжи разных цветов.

Ткацкие и трикотажные изделия состоят из переплетения нитей. От вида этого переплетения, толщины, вида крутки и равномерности толщины нитей

Витебский государственный технологический университет

зависит восприятие цвета изделия. Как упоминалось выше, выбор цвета окраски ткани зависит, прежде всего, от фактуры, поскольку восприятия цвета и формы неотделимы друг от друга. Внимание наблюдателя можно сосредоточить на красивом переплетении нитей и отвлечь от дефектов ткацкого рисунка или грубой крутки нитей. Достичь сосредоточения внимания можно выбором цвета окраски ткани. Так, «теплые» насыщенные цвета оттеняют фактуру, а «холодные» и ахроматические отвлекают внимание от фактуры, сосредоточивая его на цвете. Этими опытными данными широко пользуются в текстильной промышленности.

При выборе цвета ткани руководствуются ее назначением и модой. Например, при крашении технических тканей основное внимание обращают на практичность (например, маркость) и целевое назначение (защита, камуфляж и т. п.). Бытовые ткани окрашивают в разнообразные цвета, учитывая моду и назначение ткани. Так, ткани для пальто, костюмов, платья и верхней одежды хотя и красят в разнообразные цвета, но при этом цветовая гамма для каждого вида одежды весьма ограничена.

Зависимость выбора цвета от моды сложна и постоянно меняется, особенно от сезона к сезону. Но и в этих непостоянствах моды имеются свои закономерности. Так, для верхней тяжелой одежды из ткани с грубой фактурой используются «холодные», мало насыщенные цвета, более светлые для лета и более темные для зимы. Для верхней женской и детской одежды используют ткани с хорошей фактурой и красят их в «теплые» цвета, часто большой насыщенности. Насыщенные (броские) цвета используют для бытовых изделий реже, преимущественно для некоторых видов легкой ткани. Получение «модных» цветов достигается смесовым крашением для уменьшения насыщенности и светлоты. Часто в этих целях используется смесь хроматических и ахроматических цветов, а при печатании прибегают к купированию или используют краски с малым содержанием красителя.

На выбор цвета большое влияние оказывает эстетический фактор. Так, большинство людей лучшие оценки дают тканям, окрашенным полноцветными цветами. Насыщенные цвета отвлекают и раздражают человека, и большинство людей не дает им хорошей оценки. При добавлении к «теплым» цветам небольших количеств «холодных» или ахроматических цветов появляется восприятие грязноватости цвета. Такие смеси всегда получают невысокие оценки потребителей. Бытовые ткани, используемые при вечернем освещении, красят в цвета, характеристики которых даны для источника А. Такой источник обогащает ощущение «теплых» цветов, но при солнечном освещении те же цвета воспринимаются менее светлыми и менее насыщенными. «Холодные» цвета при вечернем освещении воспринимаются как более темные, чем при солнечном свете.

Выбор цвета ткани зависит также от оптических свойств волокна и от его строения. На прозрачных волокнах цвет ощущается более насыщенным, чем на непрозрачных. Так, цвет шелка всегда кажется более полноцветным, чем тот же

Витебский государственный технологический университет

цвет хлопчатобумажных изделий. Для получения большой насыщенности прозрачные волокна красят в «теплые» цвета, особенно маломаркие изделия из шерсти и шелка. Ворсованная ткань имеет благоприятные условия для многократного отражения излучений ворсинками ткани. Поэтому такие ткани воспринимаются менее светлыми, но более насыщенными, чем неворсованные. При изменении наклона или длины ворса изменяются условия отражения, а вместе с тем и цвет ткани. По тем же причинам вытертые места на текстильных изделиях очень сильно заметны на фоне невытертой ткани.

При выборе цвета ткани учитывается цвет неокрашенного волокна, так как цвет готового изделия зависит от суммы цветов красителя и волокна. При крашении отбеленной ткани устраняется необходимость в поправке на цвет неокрашенной ткани и получается большая чистота цвета изделий.

Декоративные ткани окрашивают преимущественно в полноцветные цвета, но при этом принимают во внимание характер и степень освещенности их при эксплуатации, а также цвет окружающих предметов. Для получения желаемого восприятия цвета сильно освещенных театральных декораций учитывается изменение цветового тона при изменении яркости. Выбор цвета декоративных тканей сложен. Часть ткани всегда будет находиться в тени, а на освещенную часть будут попадать блики (отражения) от окружающих предметов, часто имеющих иные цвета (рефлексы). Рефлексы цвета усиливают насыщенность цвета ткани, если цвета их совпадают, и уменьшают при несовпадении цвета вплоть до сильного падения насыщенности при дополнительных цветах. Если декоративная ткань освещается несколькими разными источниками, то на ней образуются цветные тени. Рефлексы и цветные тени могут гармонировать с цветом ткани или вызывать восприятие несовместимых цветов. Выяснением подобных сложных вопросов обычно занимается художник.

Например, выбор цвета сигнальных флагов определяется их назначением и изменением степени цветоразличения с расстоянием от флага до наблюдателя. Так, синий цвет на расстоянии 700м воспринимается как темно-серый и не может быть определен. При крашении сигнальных флагов вводят поправки на рассеивание излучений так, чтобы цвет флага при эксплуатации воспринимался в соответствии с требованием.

При печати на ткань наносится какой-либо текстильный рисунок, при этом применяется один или несколько цветов. От текстильного рисунка требуется прежде всего соблюдение гармонии цвета и формы изделия. Часто для рисунка используются орнаменты, сочетания различных геометрических фигур, цветов, предметов и т. п. Ковровый рисунок сочетает в себе мелкие, часто правильные геометрические фигуры. Но эти сочетания выполняются так, чтобы на изделии получились полноцветные цвета отдельных полей. При выборе цвета рисунка возникает ряд вопросов, аналогичных тем, которые были рассмотрены выше. Многие из них могут быть решены иными средствами. Так, внимание наблюдателя легко отвлечь рисунком большого размера и тем

Витебский государственный технологический университет

«скрыть» фактуру. Но если хотят оттенить фактуру, применяют малые размеры рисунка, не «бросающиеся» в глаза.

При печатании большое значение необходимо придавать сочетанию цвета и соблюдению гармонии. Кроме того, следует учитывать явление контраста. Умело используя это явление, можно по желанию увеличить или ослабить насыщенность, получить резкие контуры рисунка и разнообразные цветовые эффекты.

БЕЛИЗНА

Белизна, как и светлота, является количественной характеристикой ощущения цвета, но используется только для характеристики цвета несамосветящихся тел. Если под светлотой понимается оценка нашим сознанием яркости, то белизной оценивается коэффициент яркости. Эта оценка определяется действием ряда факторов (адаптация, контраст) и при разных условиях освещения или наблюдения может быть различной. Так же, как и светлоту, белизну можно представить как оценку нашим сознанием того общего, что имеется между сравниваемой и идеально белой поверхностью. Это представление применимо к любому цвету, но в текстильной промышленности его используют только для ахроматических цветов.

Белизна относится к одной из важнейших характеристик неокрашенных тканей, по которой судят о качестве изделия. Абсолютная величина белизны определяется по числу порогов между образцом и идеально белым эталоном. В качестве эталона используется пластинка, покрытая окисью магния с учетом отклонения ее белизны от белизны идеально белой поверхности. Такой метод измерения совершенно непригоден для текстильной промышленности, и здесь довольствуются установлением тождества белизны образца и эталона по тождеству коэффициентов яркости.

Проведено большое количество работ по изысканию формул для расчета белизны по данным спектрофотометрических или колориметрических измерений, чтобы расчет соответствовал визуальным определениям. Эти формулы, приведенные ниже, рассчитаны для определения белизны ахроматических цветов и могут быть использованы только для определенных методов повышения белизны ткани. Белизна текстильных изделий повышается одним из следующих методов:

1) химическим или физическим воздействием (беление, мытье, чистка);

2) подцветкой синими красителями или пигментами;

3) оптическими отбеливающими веществами.

Каждый из указанных методов приводит к повышению белизны, но не всегда при этом повышается коэффициент яркости. Химические и физические методы повышения белизны сводятся к применению белящих, моющих, чистящих и экстрагирующих веществ, удаляющих и обесцвечивающих спутников целлюлозы, понижающих белизну. Коэффициент яркости при таких

Витебский государственный технологический университет

обработках повышается и может служить критерием для суждения об изменении белизны.

Беление увеличивает отражательную способность ткани, одновременно удаляя вещества, придающие ткани желтизну. При химических и физических методах повышения белизны можно использовать расчетные формулы, основанные на данных об отражательной способности ткани. В качестве примера можно привести формулу Стефансона, имеющую вид:

$$W = B – (R – B) = 2B – R, \quad (54)$$

где W – белизна; B и R – отражения при длинах волн 430 и 670 нм.

При использовании поправочного коэффициента 0,91 данные расчета достаточно хорошо сходятся с данными визуального наблюдения. Более точные результаты получаются при применении формулы Стефансона, измененной Гаррисоном:

$$W= 100 – R + B \quad (55)$$

В этой формуле часто используется поправочный коэффициент, равный 0,81.

В качестве критерия белизны применяется также величина изменения коэффициента яркости при излучении 450 нм. Но такой метод дает большие расхождения с данными визуального наблюдения, если образцы различаются по цветности. Поэтому чаще сравнивают средний коэффициент яркости, определенный по значению координаты цвета y, найденной при помощи объективного колориметра.

Кроме рассмотренных выше существуют также методы, основанные на использовании равноконтрастных графиков цвета.

Повышение белизны подцветкой синими красителями или пигментами основано на субтрактивном синтезе ахроматических цветов. Окрашивая в синий цвет, дополнительный к желтому, удается устранить ощущение желтизны изделия. При этом методе необходимо брать определенное количество подцветки, так как избыток ее приведет к ощущению синего цвета и уменьшению белизны. В качестве подцветки используют раствор индигокармина или дисперсию синьки.

Малая концентрация синьки приводит к понижению отражения по всему спектру. Повышение концентрации синьки на волокне мало влияет на изменение спектра в коротковолновой части, но сильно уменьшает отражение по остальной части спектра, что приводит к появлению ощущения синего цвета.

Общий эффект подцветки сводится к понижению количества отраженного излучения при общем повышении белизны. В данном случае невозможно связать изменение отражения с белизной.

Оптические отбеливания преобразуют ультрафиолетовое излучение в видимое, имеющее синий цвет. Спектр эмиссии оптических отбеливателей лежит в пределах 430 – 460 нм и, суммируясь с излучением, отраженным от ткани, устраняет ощущение желтого цвета.

Витебский государственный технологический университет

Для расчета белизны при оптическом белении в 1959г. Бергер предложила следующую формулу:

$$W = \frac{y}{3} + (z - x),$$

где y – координата цвета; x и z – ординаты кривых сложения.

БЛЕСК И ГЛЯНЕЦ

Блеском называется восприятие цвета излучения, отраженного от неоднородной поверхности, состоящей из отдельных участков, диффузно рассеивающих и зеркально отражающих излучение под разными углами. Блеск поверхности сильно изменяется при изменении угла наблюдения в зависимости от изменения расположения зеркально отражающих участков. Блеск очень тонко подмечается нашим сознанием и является одной из важных характеристик текстильных изделий. Для одних тканей он является обязательным, для других нежелателен и требует устранения. До сих пор не разработаны какие-либо характеристики блеска как психологической величины. В технике используется психофизическая характеристика блеска, показывающая распределение яркости излучения, отраженного от поверхности ткани. Такая характеристика не дает представления о блеске и относится к числу условных технических показателей. В текстильной промышленности довольствуются измерением коэффициента яркости в одном направлении. Так, в соответствии с ГОСТом 896-41 коэффициент яркости измеряется под углом 45° как для падающего, так и для отраженного излучения. При этом зеркальное отражение от стеклянной поверхности, поставленной в те же условия наблюдения, принимается за 100%.

Глянцем называется восприятие цвета излучения, отраженного от однородной поверхности, обладающей большим коэффициентом зеркального отражения. Для полированных поверхностей с большим глянцем зеркальное отражение превышает 70%. Средний глянец наблюдается при зеркальном отражении от 30 до 70%, а малый – от 6 до 30%. Придание глянца текстильным изделиям относится к числу специальных операций по заключительной отделке ткани, требующей стандартизации. Каких-либо психофизических единиц для глянца не установлено, поэтому в технике довольствуются измерением зеркального отражения в тех условиях, которые описаны выше.

МЕЛАНЖИРОВАНИЕ ОКРАШЕННЫХ ВОЛОКОН

Меланжевыми тканями называются ткани, вырабатываемые из пряжи, которая получена путем смешивания волокон, предварительно (до прядения) окрашенных в разные цвета.

Витебский государственный технологический университет

Таким образом, общий цвет ткани получается в результате оптического смешения разных цветов отдельных волокон.

Если сравнивать цвет меланжевой ткани с живописной картиной, то общий цвет меланжевой ткани можно сравнить с общим тоном картины. Общий цвет меланжевой ткани мягкий, независимо от того, что отдельные волокна окрашены в яркие цвета.

Меланжевые ткани меньше загрязняются, на них меньше, чем на гладких тканях, заметен блеск от износа.

Прочность окраски намного выше, чем у гладкокрашеных тканей. Светлый цвет меланжевых тканей получают за счет добавления в смеси белого волокна при полной насыщенности цвета окрашенных волокон, что и обеспечивает им большую прочность окраски.

Цвет волокна, входящего в смесь в наибольшем количестве, называется основным (ведущим цветом); цвета волокон, которые входят в смесь в меньшем количестве, являются оттеночными.

Яркий цвет волокна, входящего в смесь в количестве не более 10%, называется ***«искрой».*** Такие волокна применяют для оживления общего тона ткани, поэтому цвет волокна должен быть контрастным по отношению к общему тону ткани.

Волокно, взятое для «искры», должно быть несколько грубее и жестче волокон основной меланжевой смеси, которые в процессе отделки ткани выбиваются на поверхность, в то время как более мягкие волокна располагаются внутри ткани (рис. 36).

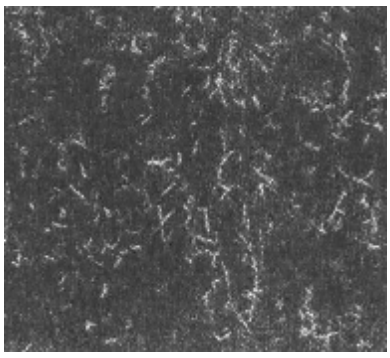


Рис. 36

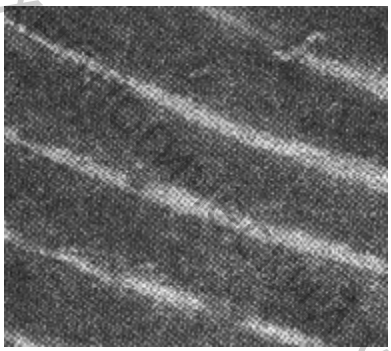


Рис. 37

На рис. 37 показана суконная ткань, выработанная из темной шерсти и светлого лавсана. Этот образец наглядно показывает, что при отделке тканей все шерстяные упругие волокна вышли на поверхность.

Меланжевые ткани можно вырабатывать из различных видов волокон. Большое количество меланжевых тканей вырабатывают в хлопчатобумажной промышленности (надо помнить, что в хлопчатобумажной промышленности выпускают ткани из гладкокрашеной пряжи, их также называют меланжевыми; относить эти ткани к меланжевым, однако, неправильно).

Витебский государственный технологический университет

Можно вырабатывать меланжевые ткани и из смесей хлопка и штапельного искусственного волокна, из искусственных и синтетических волокон, так же меланжевые ткани можно вырабатывать от самых светлых до самых темных цветов, как в хроматической, так и ахроматической гамме.

При выработке меланжевых тканей рекомендуется одновременно вырабатывать пряжу нескольких цветов с различной гаммой оттенков, изменяющихся по светлоте, насыщенности и цветовому тону.

Например, при выработке серых меланжевых тканей составляют равноступенчатые ряды (в геометрической прогрессии) образцов пряжи по цвету (рис. 38).

Л. Г. Лейтес составил таблицу соотношения черных и белых волокон в образцах равноступенчатых серых рядов из семи эталонов по светлоте (табл. 3).

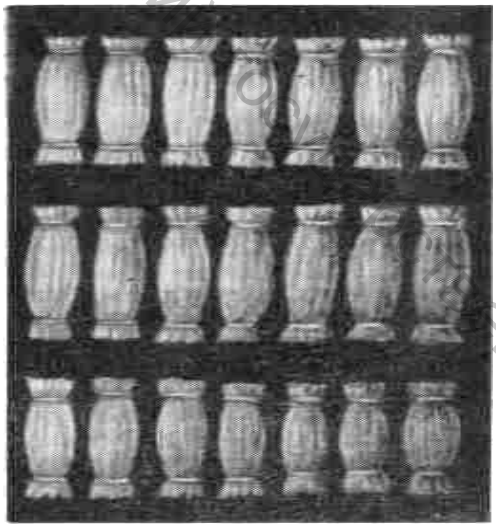


Рис. 38

Рассматривая рис. 38 можно видеть, что черно-белые образцы пряжи равноступенных рядов по светлоте отличаются друг от друга. Средние (четвертые) эталоны во всех трех рядах одинаковы и содержат черный и белый цвета в отношении 1:1, т. е. по 50%. Чтобы серые меланжевые ткани имели приятный чистый цвет, белое волокно должно быть меловой белизны, без желтого оттенка. В противном случае ткани приобретают грязный оттенок.

Таблица 3 – Соотношение черных и белых волокон в образцах равноступенчатых серых рядов из семи эталонов по светлоте

Цвет	Соотношение белых и чёрных волокон в равноступенчатых серых рядах						
Белый	8	4	2	1	1	1	1
Чёрный	1	1	1	1	2	4	8
Белый	15,6	6,25	2,5	1	1	1	1
Чёрный	1	1	1	1	2,5	6,25	15,6
Белый	27	9	3	1	1	1	1
Чёрный	1	1	1	1	3	9	27

При выработке меланжевых тканей из смесей черной и белой шерсти белую шерсть предварительно рекомендуется подвергать отбеливанию. Подобно меланжевым тканям серых тонов, можно вырабатывать ткани и других цветов, смешивая с белыми волокнами волокна синего, красного, коричневого или других хроматических цветов.

При составлении меланжевых смесей необходимо придерживаться следующих основных правил:

Витебский государственный технологический университет

1. Все основные цвета темных меланжевых смесей должны быть насыщенными. Под насыщенностью понимается полнота цвета, при которой он дает наибольшую яркость. Насыщенность проверяют сравнением цвета волокна, взятого для меланжирования, с аналогичным цветом в спектральном круге.

2. Составлять меланжевые смеси из волокон, окрашенных во взаимодополнительные цвета, не рекомендуется, так как при этом общий цвет смеси получается тусклым, выработанные ткани приобретают выцветший вид.

3. Необходимость использования волокон, имеющих полный насыщенный цвет, объясняется тем, что при смешивании волокон двух насыщенных цветов цвет полученной смеси будет иметь меньшую насыщенность, чем каждый в отдельности цвет смешиваемых компонентов.

В многолетней практике принято составлять меланжевые смеси из следующих цветных волокон.

Цвет фона	Цвет “искры”
Голубой + тёмно-синий	Белый, золотистый или зелёный
Синий + тёмно-синий с зелёным отливом	Золотистый или красный
Серый + тёмно-серый	Белый, золотистый или сиреневый
Тёмно-серый + чёрный	Золотистый или фиолетовый
Синий + зелёный	Светло-синий или красный
Коричневый + зелёный	Золотистый или светло-зелёный

На предприятиях составлением меланжевых смесей занимаются дессинаторы, колористы или художники, которые должны хорошо владеть цветом и уметь подбирать нужные оттенки. Чтобы не допускать грубых ошибок, необходимо всегда иметь образцы окрашенных в разные цвета волокон (и рецептуру их крашения) и составлять из них меланжевые смеси.

При смешивании волокон их порции необходимо брать по весу. Волокна должны иметь прочную окраску и не изменять цвета в процессе производства ткани.

В шерстяной промышленности меланжевые ткани вырабатывают двух видов: чистошерстяные и полушерстяные.

- Чистошерстяные ткани вырабатывают из смеси цветных волокон.
- Полушерстяные ткани можно вырабатывать двумя способами:

1) из смеси волокон шерсти и волокон растительного происхождения или искусственных, предварительно окрашенных в разные цвета;

2) из растительных или химических волокон, предварительно окрашенных в нужный цвет, и суровой шерсти, которая окрашивается в нужный цвет при крашении ткани.

При составлении полушерстяных меланжевых смесей необходимо учитывать следующее:

Витебский государственный технологический университет

- растительные или химические волокна должны окрашиваться прочными красителями и не изменять цвета при крашении ткани в полотне и ее отделке;

- крашение ткани в полотне должно производиться красителями, которые не окрашивают растительные или искусственные волокна и не загрязняют их;

- при составлении меланжевых смесей не следует вкладывать в смесь волокна, имеющие природный цвет, так как природный цвет не имеет нужной насыщенности и часто в процессе обработки ткань светлеет (линяет);

- в меланжевые смеси нельзя добавлять крашеные обраты других, отличающихся по цвету смесей (при несоблюдении этого правила, меланжевые смеси будут тусклыми);

- при составлении меланжевых смесей с использованием восстановленной шерсти лоскут, который разрабатывают в волокно, необходимо подбирать по цветам.

В настоящее время имеется большое количество искусственных и синтетических волокон, которые окрашиваются разными красителями.

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ

Известно, что наше зрение несовершенно и иногда мы видим не то, что существует в действительности.

Но тот факт, что огромное большинство людей получают иногда одинаковые ошибочные зрительные впечатления, говорит об объективности нашего зрения и о том, что оно, дополняемое мышлением и практикой, дает нам относительно точные сведения о предметах внешнего мира. С другой стороны, тот факт, что разные люди в процессе зрительного восприятия обладают различной способностью ошибаться, иногда видят в предметах то, чего другие не замечают, говорит о субъективности наших зрительных ощущений и об их относительности.

Говоря в общем о причинах зрительных иллюзий (ошибок, обманов), следует, во-первых, указать, что иногда они появляются вследствие специально созданных, особых условий наблюдения, например: наблюдение одним глазом, наблюдение при неподвижных осях глаз, наблюдение через щель и т.п. Такие иллюзии исчезают при устранении необычных условий наблюдения.

Во-вторых, подавляющее большинство иллюзий зрения возникает не из-за оптического несовершенства глаза, а из-за ложного суждения о видимом. Поэтому можно считать, что обман здесь возникает при осмысливании зрительного образа. Такие иллюзии исчезают при изменении условий наблюдения, при выполнении простейших сравнительных измерений, при исключении некоторых факторов, мешающих правильному восприятию.

Наконец, известен ряд иллюзий, обусловленных и оптическим несовершенством глаза, некоторыми особыми свойствами различных анализаторов, участвующих в зрительном процессе (сетчатка, рефлексы нервов).

Витебский государственный технологический университет

К иллюзиям зрения не относятся оптические фокусы и загадочные привидения, создаваемые при помощи зеркал, проекционных аппаратов и других технических устройств, а также интересные оптические явления, иногда наблюдаемые в природе (миражи, северные сияния).

Появление последних обусловлено оптическими свойствами земной атмосферы.

Во всех этих случаях наш глаз ошибается потому, что его умышленно обманывают или при помощи технических приспособлений, или за счет особого состояния среды между глазом и объектом наблюдения.

Также не являются иллюзиями восприятия обманы зрения, возникающие у некоторых людей в сумерках и темноте, когда недостаточное освещение затрудняет работу глаз и создает особое настроение и искажения ощущений в результате близорукости, дальнозоркости, дальтонизма и других дефектов зрительного аппарата, не характерных для большинства людей.

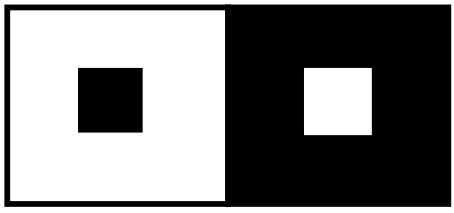
Наличие слепого пятна на сетчатой оболочке глаза впервые открыл в 1668г. известный французский физик Э.Мариотт. Дело в том, что сетчатая оболочка глаза в том месте, где в глаз входит зрительный нерв, не имеет светочувствительных окончаний нервных волокон. Например, если закрыть левый глаз и посмотреть правым на фигуру, изображенную слева, держа рисунок на расстоянии 15 – 20см от глаза, то при некотором положении рисунка относительно глаза изображение правой фигуры перестает быть видимым.

Поэтому изображения предметов, приходящихся на это место сетчатки, не передаются в мозг и, следовательно, не воспринимаются. Слепое пятно, казалось бы, должно мешать нам видеть весь предмет, но в обычных условиях мы этого не замечаем.

Во-первых, потому что изображения предметов, приходящиеся на слепое пятно в одном глазу, в другом проектируются не на слепое пятно; во-вторых, потому, что выпадающие части предмета невольно заменяются образами соседних частей или фона, окружающими этот предмет (на рисунке исчезающая фигура заменяется белым фоном).

Явление **иррадиации** (по-латыни – неправильное излучение) состоит в том, что светлые предметы на темном фоне кажутся более увеличенными против своих настоящих размеров и как бы захватывают часть темного фона.

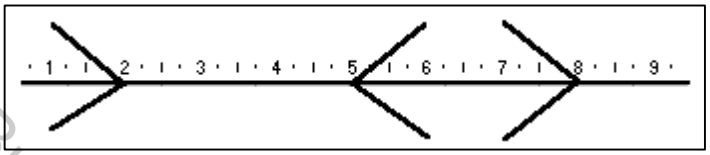
Когда мы рассматриваем светлую поверхность на темном фоне, вследствие несовершенства хрусталика как бы раздвигаются границы этой поверхности, и эта поверхность кажется нам больше своих истинных геометрических размеров.



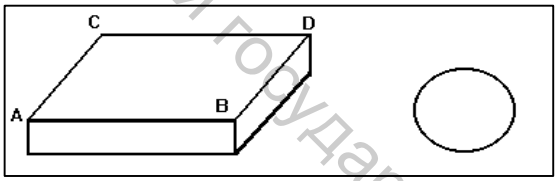
На рисунке за счет яркости цветов белый квадрат кажется значительно большим относительно черного квадрата на белом фоне.

Витебский государственный технологический университет

Очень многие ошибочные зрительные впечатления обусловлены тем, что мы видим воспринимаемые нами фигуры и их части не отдельно, а всегда в некотором соотношении с окружающими их другими фигурами, некоторым фоном или обстановкой.

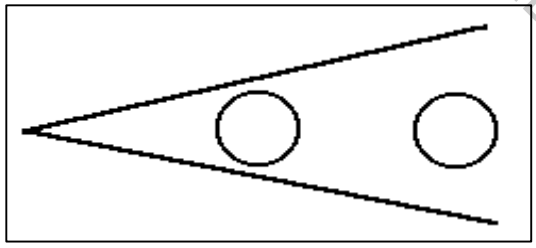


Сравнивая две фигуры, из которых одна действительно меньше другой, мы ошибочно воспринимаем все части меньшей фигуры меньшими, а все части большой – большими. Это хорошо видно, скажем, на примере с линейкой: левый отрезок на ней кажется нам больше и длиннее правого, хотя на самом деле они равны. Это обусловливается психологическим аспектом восприятия.

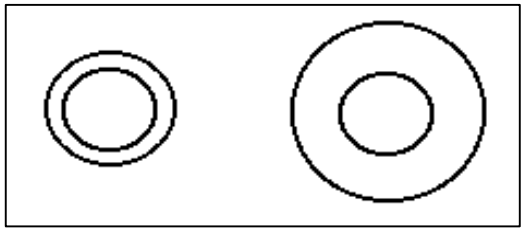


На рисунке диаметр круга кажется больше расстояния между линиями AB и CD; на самом деле он равен этому расстоянию.

При восприятии фигур в целом и отдельных их частей (линии, углы, отдельные детали) зрительные иллюзии могут иметь место вследствие так называемого общепсихологического закона контраста, т.е. обстановки, окружения этих частей и их взаимосвязи с другими частями фигуры.



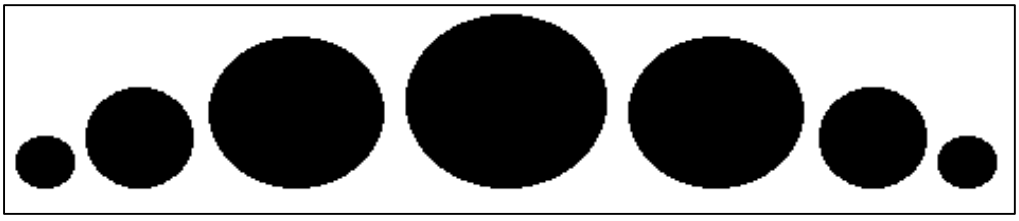
Вот пример: на рисунке слева круг, примыкающий ближе к сторонам острого угла, кажется больше, чем другой, тогда как их размеры одинаковы.



На другом рисунке внутренний круг слева кажется больше правого внутреннего круга. Это объясняется не контрастом яркости или цветовым контрастом, который здесь ничтожно мал или вовсе отсутствует, а особенностями восприятия фигуры и фона.

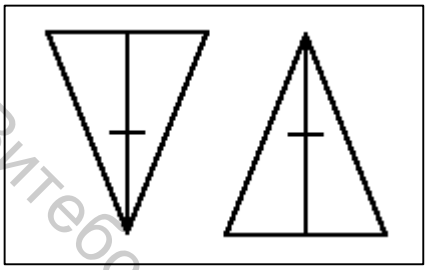
Известны иллюзии, причина которых кроется в уподоблении (ассимиляции) одной части фигуры другой.

На приводимом рисунке прямая, касательная ко всем кружкам разных радиусов, кажется кривой, так как мы невольно уподобляем её верхней криволинейной границе (иллюзия С.Томпсона).



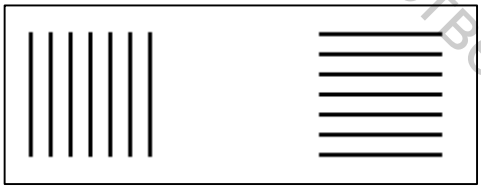
Витебский государственный технологический университет

В силу исторически накопленного опыта и благодаря расположению линии, соединяющей глаза человека в горизонтальной плоскости, человек обладает способностью точнее определить на глаз горизонтальные расстояния, чем высоту предметов.



Поэтому большинство людей обладает способностью преувеличивать вертикальные протяженности по сравнению с горизонтальными, и это также приводит к иллюзиям зрения. Если предложить ряду лиц начертить вертикальную и горизонтальную линии одинаковой длины, то в большинстве случаев начерченные вертикальные линии будут короче горизонтальных. При делении на глаз вертикальной линии пополам обычно середина оказывается слишком высоко (это ясно видно из приведенного рисунка).

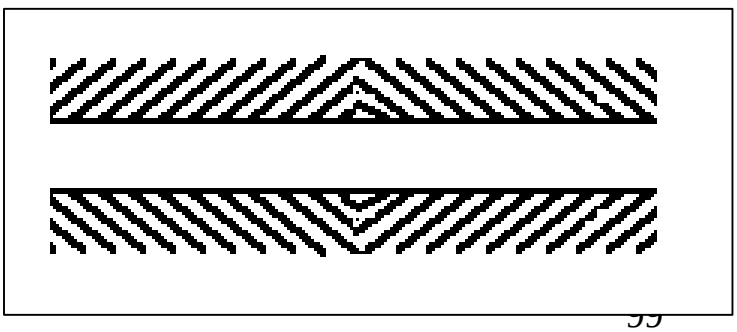
Вертикальные параллельные линии при значительной их длине обычно кажутся в верхней части слегка расходящимися, а горизонтальные – сходящимися.



На другом рисунке нам кажется, что правая фигура уже и выше (взгляд скользит по вертикали) левой фигуры.

На самом деле обе эти фигуры – правильные заштрихованные квадраты с равными сторонами. Значит, заполненное пространство нам всегда кажется шире незаполненного и по горизонтали и по вертикали. Однако это не всегда так, и многое в этом зависит от направления, по которому скользит наш взгляд, стремясь воспринять фигуру.

Многие иллюзии объясняются способностью нашего зрения преувеличивать видимые нами на плоских фигурах острые углы. Возможно, этого рода иллюзии появляются из-за явления иррадиации, так как расширяется видимое нами светлое пространство около темных линий, ограничивающих острый угол. Возможно также, острый угол увеличивается по причине общепсихологического контраста, так часто острые углы лежат рядом с тупыми, и влияние оказывает обстановка. Большое значение этих иллюзий имеет направление движения глаз и их подвижность вообще. Если имеется излом линий, то наш глаз в первую очередь “схватывает” острый угол, так как ось поля зрения перемещается сначала по кратчайшему направлению и лишь затем обследует стороны тупых углов.

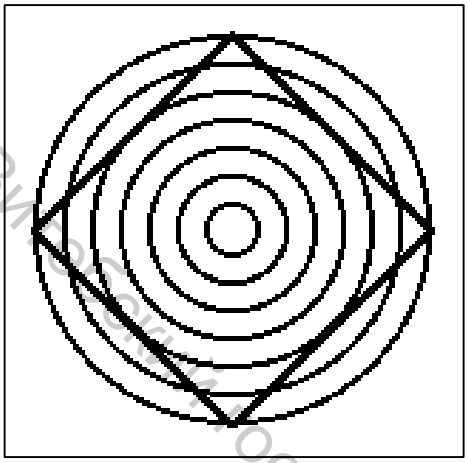


Острые углы всегда кажутся большими, чем есть на самом деле, и поэтому появляются определенные искажения в истинном соотношении частей видимой

Витебский государственный технологический университет

фигуры. На рисунке параллельные прямые линии вследствие влияния фона кажутся непараллельными и изогнутыми.

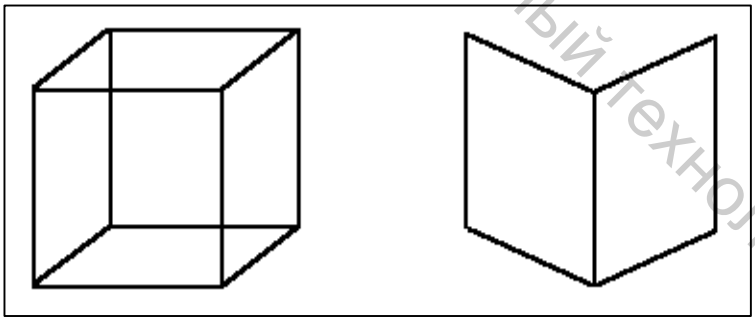
Иногда изменение направлений линий и искажение формы фигуры



происходит также из-за того, что глаз следит за направлениями других линий, находящихся в поле зрения. Таким образом, возможны случаи сочетания причин, вызывающих иллюзию зрения, например, преувеличение острых углов и психологический контраст, или одного из этих обстоятельств, и того, что взгляд скользит по окружающим её линиям фона. На приведенном рисунке прямолинейные стороны квадрата кажутся искривленными, а весь квадрат – деформированным.

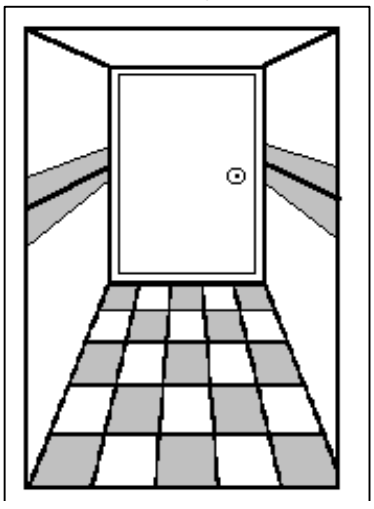
Интересные зрительные иллюзии имеют место при условиях видимого нами рельефа или глубины рисунка. Возникновение этих иллюзий связано со способностью глаза видеть предметы на разных расстояниях, со способностью воспринимать пространство по яркости предметов, по их теням и по числу промежуточных объектов.

С другой стороны, эти иллюзии возникают и в процессе осмысливания



видимого. Мозг, воспринимая предмет, искажает видимое нами рельефное изображение. Примером тому служит приводимый рисунок: куб то кажется видимым сверху, то сбоку; раскрытая книга то кажется изображенной корешком к нам, то корешком от нас. Это происходит как по нашему желанию, так и непроизвольно и иногда даже наперекор нашему желанию.

Мы часто видим сходящиеся вдали параллельные линии (полотно железной дороги, шоссе и т.п.). Это явление называется **перспективой**. Чтобы изобразить на рисунке некоторую часть пространства, заполненную предметами, так, чтобы рисунок производил впечатление действительности, необходимо уметь пользоваться законами перспективы.

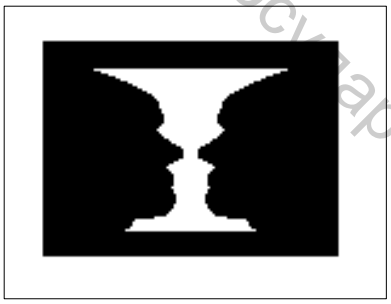


Все линии на этом рисунке, идущие в действительности параллельно поверхности, должны быть изображены сходящимися в некоторой точке горизонта, называемой “точкой схода”. Линии же, идущие под разными углами, должны сходится по ту или другую сторону “точки схода” тем дальше от нее, чем под большим углом к линии прямого зрения они проходят. Из этих точек особенно замечательной

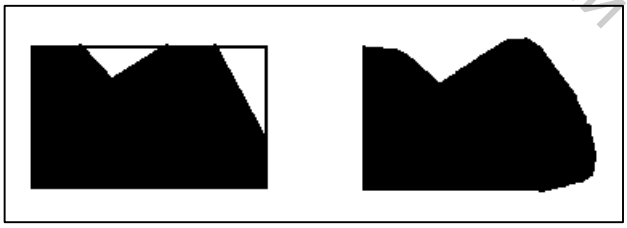
Витебский государственный технологический университет

является точка, где сходятся линии, идущие под углом 45º к линии прямого зрения. Эта точка называется “точкой отдаления”. Она замечательна тем, что если напротив неё поместить глаз на расстоянии, равном расстоянию от “точки схода” до “точки отдаления”, то рисунок производит впечатление объемности. Перспективное восприятие пространства, выработанное многовековой эволюцией зрения, человек переносит и на рассматриваемые им картины и фотографии, на которых изображены равноудаленные предметы. На рисунке коридор кажется объемным именно благодаря перспективе: коридор на нем уходит вглубь, а пол состоит из прямоугольников.

Рассмотрим ряд иллюзий зрения, обусловленных влиянием контраста яркости, т.е. отношения разности яркостей объекта и фона к яркости фона. Во-первых, на более темном фоне мы видим фигуры более светлыми и, наоборот, на светлом – более темными. Во-вторых, при восприятии фигуры и фона мы склонны видеть прежде всего пятна меньшей площади, а также пятна более яркие, “выступающие”, причем чаще всего фон нам кажется лежащим дальше от нас, за фигурой. Чем больше контраст яркости, тем лучше заметен объект и тем отчетливее видны его контур и форма. На рисунке большинство видит в первую очередь вазу, а затем два силуэта.



Наконец, есть явление “отпадания к фону” некоторых частей фигур. Так, если прямоугольный предмет, окрашенный черной краской, как показано на рисунке слева, наблюдать с некоторого большого расстояния на белом фоне, то он будет выглядеть приблизительно таким, каким изображен справа.



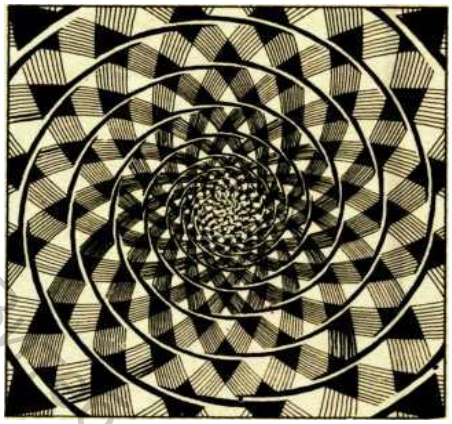
В этом случае белые пятна на предмете, тонкие линии его контура и резкие переходы от фигуры к фону на углах отпадут к фону, и форма предмета будет казаться искаженной. Глаз очень часто темное пятно принимает за тень от других рядом стоящих предметов. На этом принципе основана камуфляжная окраска предметов пятнами разных цветов в целях военной маскировки.

Такая же окраска “камуфляж” наблюдается в мире животных и растений и служит для них защитной окраской.

При движении объекта наблюдения встречается также ряд зрительных иллюзий, которые обусловлены некоторыми свойствами нашего зрительного аппарата. Например, если круг с окрашенным сектором привести во вращение, то весь круг нам кажется окрашенным. Это можно объяснить способностью нашего глаза в течение долей секунды удерживать зрительное впечатление, хотя видимый предмет уже исчез из вида.

Существует иллюзия, которую можно назвать **спиралью Плато**, а если проще – **эффект волчка**.

Витебский государственный технологический университет



Если диск со спиралью (волчок) вращать по часовой стрелке, то после продолжительного фиксирования её глазом у нас возникает впечатление стягивания всех ветвей спирали к центру; при вращении спирали в обратном направлении мы видим расхождение спиралей в обратном от центра к периферии. Если после длительного рассматривания движущейся спирали взглянуть на неподвижные предметы, мы увидим их движение в обратном направлении. Глядя на рисунок мы, без всякого сомнения, видим спираль. В действительности на рисунке изображены концентрические окружности.

На свойстве нашего глаза в течении 0,1 секунды “видеть” то, что уже исчезло, основан кинематограф: при смене 24-х кадров в секунду и при перекрытии окна проектора в момент смены кадра особым экраном (обтюратором) наш глаз не замечает этой смены и воспринимает не движение ленты, а более медленное движение фигур, проектируемых на экран.

Телевидение также использует закон зрительного впечатления. В этом случае на люминесцирующем экране электронно-лучевой трубки приемника электронный луч, с очень большой скоростью, как бы “рисует” изображение видимой нами картины, двигаясь по горизонтальным строкам и от строки к строке смещаясь по вертикали. Вследствие большой скорости перемещения электронного луча от верхней части экрана строчками до нижней его границы, мы не замечаем этого движения, а воспринимаем изображение в целом.

Важнейшим свойством нашего глаза является его способность различать цвета.

Одно из явлений – **явление смещения максимума относительной видности при переходе от дневного зрения к сумеречному** – состоит в том, что при сумеречном зрении (при низких освещенностях) не только понижается чувствительность глаза к восприятию вообще, но и что в этих условиях глаз обладает пониженной чувствительностью к цветам длинноволнового участка видимого спектра (красные, оранжевые), но зато обладает повышенной чувствительностью к цветам коротковолновой части спектра (синие, фиолетовые). Красный мак и василек при дневном освещении кажутся по яркости близкими друг к другу. В сумерках мак кажется совершенно темным, а василек более светлым. Иногда при рассматривании цветных объектов мы также встречаемся с ошибками зрения или иллюзиями.

О насыщенности цвета мы ошибочно судим по яркости фона или по цвету окружающих его предметов. В этом случае действуют также закономерности контраста яркостей: **цвет светлеет на темном фоне и темнеет на белом**.

Белорусский государственный технологический университет

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонов, И. Д. Иллюзии зрения / И. Д. Артамонов. – Москва, 1997. – 222 с.

2. Демидов, В. Как мы видим то, что видим / В. Демидов. – Москва : Издательство “Знание”, 2001.

3. Рок, И. Введение в зрительное восприятие. Книга первая / И. Рок. – Москва : Педагогика, 1999.

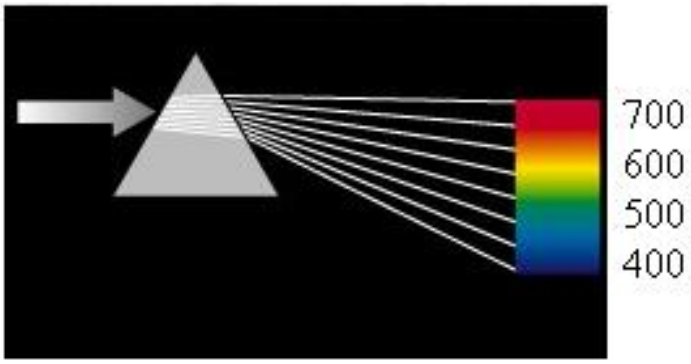
4. Перышкин, А. В. Факультативный курс физики / А. В. Перышкин, В. П. Чемакин. – Москва : Просвещение, 1980. – 142 с.

5. Ершов, А. П. Цвет и его применение в текстильной промышленности / А. П. Ершов, А. А. Хартов. – : Издательство Ленинградского университета, 1974. – 163 с.

6. Шашлов, Б. А. Цвет и цветовоспроизведение : учебник / Б. А. Шашлов. – 2 изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во МГАП “Мир книги”, 1995. – 316 с.

7. Якаўлеў, М. К. Тэорыя колеру і колераўзнаўлення : вучэб. дапаможнік / М. К. Якаўлеў. – Мінск : БДТУ, 2007. – 130 с.

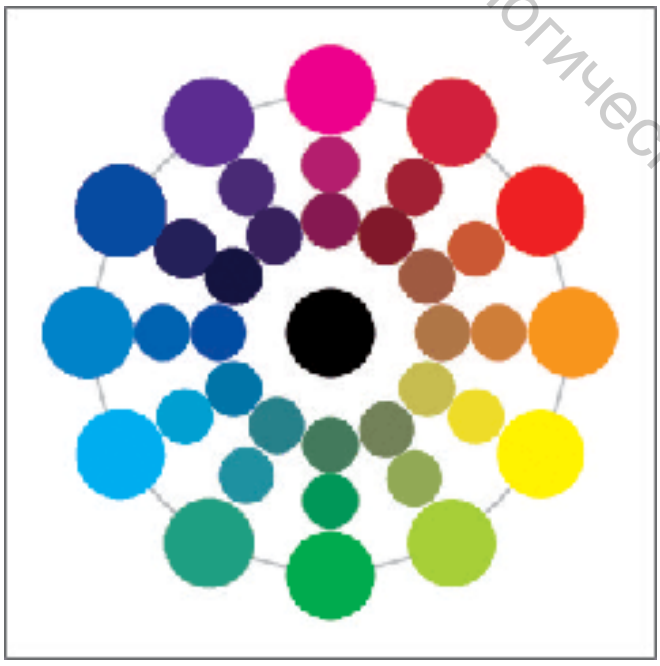
Витебский государственный технологический университет



1. Разложение белого света в спектр

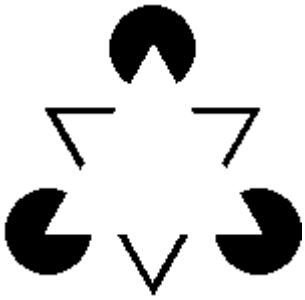
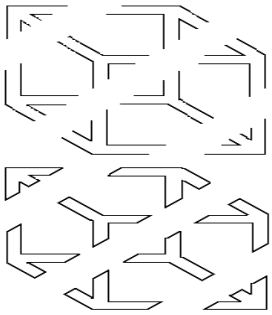
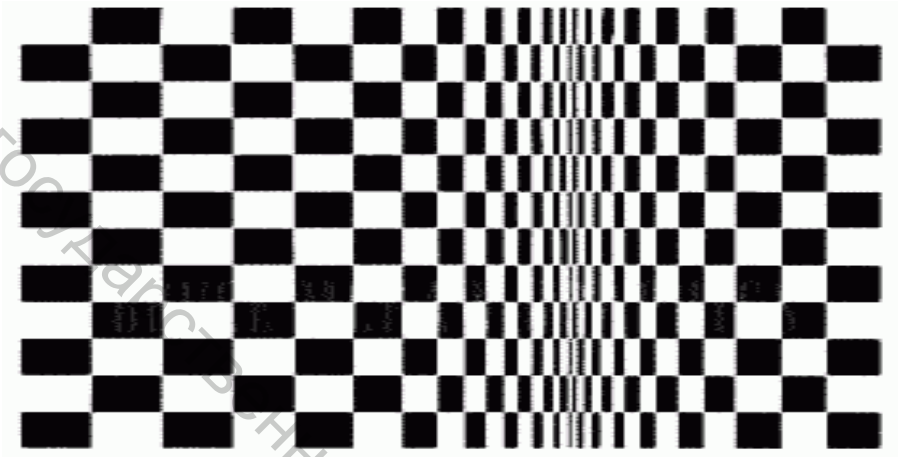
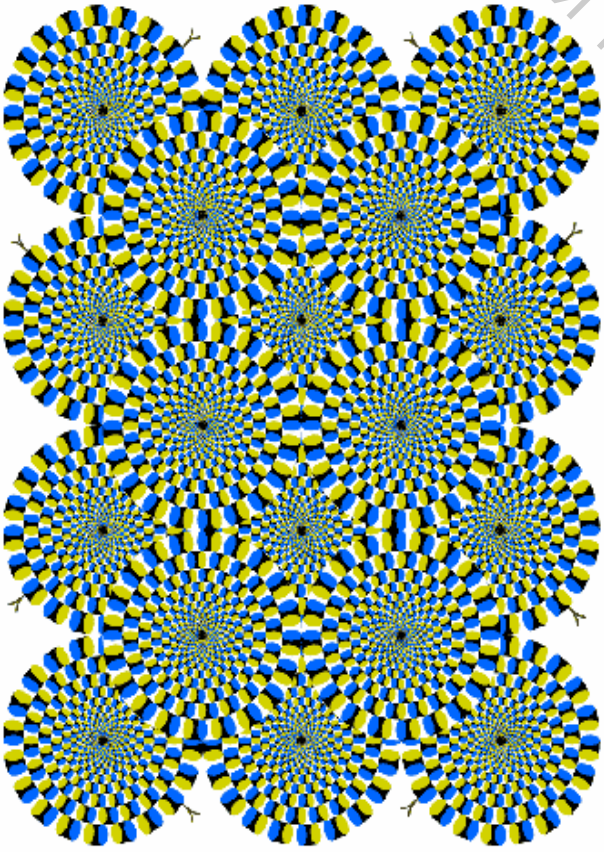
2. Аддитивное смешение цветов

3. Субтрактивное образование цветов



4. Двенадцатиступенный цветовой круг

Витебский государственный технологический университет

5. Зрительные иллюзии

ВИтебский государственный технологический университет

Содержание

Введение ……. 4
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЦВЕТЕ ……... 7
Тема 1. Физика цвета …… 7
Физические основы учения о свете и цвете. Распределение энергии в спектре сложного цвета. Основные характеристики цвета.
Тема 2. Физиологические основы учения о цвете ……..... 14
Глаз как орган восприятия цвета. Трехкомпонентная теория цветового зрения. Цветочувствительность глаза. Контраст цветов.
Тема 3. Психологическое воздействие цвета ……... 24
РАЗДЕЛ 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА 29
Тема 1. Основы спектрофотометрии ……. 29
Основные фотометрические величины. Цветоизмерительные приборы: спектрофотометры, колориметры. Атласы цветов.
Тема 2. Колориметрия …….. 44
Теоретические основы международной колориметрической системы МКО. Основные и единичные цвета, координаты цвета и цветности, кривые сложения. Разработка цветового графика, нереальные цвета X Y Z. Цветовой график МКО (график перехода от координат цветности к координатам цветовой тон и чистота цвета).
Методы расчета характеристик цвета по спектрофотометрическим кривым. Интегральный метод расчета координат цвета. Расчет координат цвета методом избранных ординат. Пример расчета характеристик цвета методом избранных ординат.
Источники света. Стандартные колориметрические источники света.
РАЗДЕЛ 3. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦВЕТА……..... 73
Оптическое смешение цветов. Способы получения цвета: аддитивный синтез, субтрактивный синтез. Смешение красок.
РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕНИЯ О ЦВЕТЕ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ …… 85
Цвет в текстильной промышленности. Выбор цвета окраски ткани. Белизна. Блеск и глянец. Меланжирование окрашенных волокон. Зрительные иллюзии.
Литература …….. 102
Приложение …… 103

Витебский государственный технологический университет

Учебное издание

Рубаник Василий Васильевич

Лаппо Наталья Михайловна

Основы теории цвета

Пособие

Редактор А. Д. Шилин
Технический редактор А. Б. Чернова
Корректор Е. М. Богачёва
Компьютерная верстка А. Б. Чернова

Подписано к печати 08. 12. 09. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная №1. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. листов 5,9. Уч. -издат. листов 7,9. Тираж 113 экз. Зак. № 497

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» 210035, г. Витебск, Московский проспект, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»
Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

Витебский государственный технологический университет