



# Международная конференция Российского общества цвета

## Сборник материалов

1-5 декабря

Смоленск 2020

Смоленский государственный университет  
Научно-образовательный центр «Лаборатория цвета»  
Рабочая группа по изучению цветового дизайна среды  
Международной ассоциации цвета  
ИНИОН РАН

**МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА ЦВЕТА**

**Сборник статей**

Смоленск, 1–5 декабря 2020 года

Смоленск  
Издательство Смоленского государственного университета  
2021

Smolensk State University  
Research and Education Center «Color Lab»  
AIC Study Group on Environmental Color Design  
Institute of Scientific Information for Social Sciences  
of the Russian Academy of Sciences

**THE INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC CONFERENCE  
OF THE COLOR SOCIETY OF RUSSIA**

**Selected Papers**

Smolensk, December 1–5, 2020

Smolensk  
Smolensk State University Press  
2021

**УДК 316.4**  
**ББК 60.5**  
**М 43**

**Editors:** Yulia A. Griber (Russia), Verena M. Schindler (Switzerland)

**Reviewers:**

Juliet Albany (Australia), Vadim Andreev (Russia), Kine Angelo (Norway), Ulrich Bachmann (Switzerland), Doreen Balabanoff (Canada), Janet Best (United Kingdom), Sabina Bračko (Slovenia), Michael H. Brill (USA), Yuriy Burykin (Russia), Ingrid Calvo Ivanovic (Chile), Vien Cheung (United Kingdom), Elisa Cordero-Jahr (Chile), Paula Csillag (Brazil), Osvaldo Da Pos (Italy), Maria João Durão (Portugal), Vassilyj Dvoynev (Russia), Alexander Egorov (Russia), Brian Funt (Canada), Yacine Gouaich (Algeria), Paul Green-Armytage (Australia), Kyoko Hidaka (Japan), Robert Hirschler (Hungary), John Hutchings (United Kingdom), Domicela Jonauskaite (Switzerland), Robin Kingsburgh (Canada), Faina Kremen (Russia), Agata Kwiatkowska-Lubańska (Poland), Jean-Philippe Lenclos (France), Maggie Maggio (USA), Banu Manav (Turkey), Fiona McLachlan (United Kingdom), Manuel Melgosa (Spain), Alexandra Pankratova (Russia), Galina Paramei (United Kingdom), Laurence Pauliac (France), Lubov Puzyrova (Russia), Saara Pyykkö (Finland), Maurizio Rossi (Italy), Jada Schumacher (USA), Elena Sukhova (Russia), Elza Tantcheva-Burdge (United Kingdom), Justyna Tarajko-Kowalska (Poland), Yulia Ustimenko (Russia), Jinghong Wang (China), Ralf Weber (Germany), Mark Wentworth (United Kingdom)

M 43

**The International Scientific Conference of the Color Society of Russia: Selected papers / ed. by Yulia A. Griber, Verena M. Schindler. Smolensk: Smolensk State University Press, 2021. – 332 p.**

ISBN 978-5-88018-660-0

This book presents the selected full papers by participants of the International Scientific Conference of the Color Society of Russia. They discuss a wide range of issues related to colour theory and its application in various socio-cultural contexts. The relevant psychological, sociological, linguistic, philosophical, pedagogical, art historian, technical and scientific aspects are considered.

The book is published with the support of the Presidential Grant Foundation (Project No. 20-2-000280).

УДК 316.4  
ББК 60.5

ISBN 978-5-88018-660-0

© Authors, 2021  
© Y. A. Griber, V. M. Schindler, eds., 2021  
© Smolensk State University Press, 2021

## Системы цветового порядка, смешение цветов и роль cesia

**Кайвано Хосе Луис**

Университет Буэнос-Айреса, Национальный совет по исследованиям, Буэнос-Айрес, Аргентина  
caivano@fadu.uba.ar

### ABSTRACT

The aim of this paper is to offer an overview and delineate interrelationships between the following two questions: 1) how the shape of color order systems is related to different types of chromatic mixtures, and 2) how the degree of opacity or transparency (an aspect of cesia) of the coloring media involved in the mixtures define the results, beyond the established categories of additive, partitive and subtractive mixtures. The underlying idea is that these processes are of a gradualist nature, and that a continuous sequence can be traced between two poles: additive mixture of overlapping lights, on one side, and subtractive mixture of transparent pigmentary layers, on the other one. The hypothesis is that the degree of transparency or translucency of the material used, as well as the degree of gloss or matte finish of the surfaces, will have a great influence on these processes and in the results obtained. Thus, instead of just three separate or unconnected types of color mixtures, we can postulate a model based upon a gradual sequence between additive and subtractive mixture, with partitive mixture as one of the steps in between. A schematic 3D model of gradual transformation is proposed to encompass different color systems that represent any possible mixture between additive and subtractive.

**Keywords:** color order systems, color mixtures, cesia, gradualism, transparency and opacity

### ВВЕДЕНИЕ: ИДЕЯ CESIA

В данной статье представлен обзор того, как форма той или иной системы цветового порядка связана с различными типами смешения цветов, а также как степень матовости или прозрачности красителей, применяемых в процессе смешения, воздействует на результаты без учета таких традиционных категорий, как аддитивное смешение цветов, партитивное цветообразование и субтрактивный синтез цвета. В основу исследования легла идея о том, что данные процессы носят градуальный характер и их следует понимать скорее как некий континуум, нежели классифицировать как отдельные категории.

Начнем с определения некоторых базовых аспектов. Рис. 1 позволяет назвать характеристики изображенных прямоугольников, и никто не станет отрицать, что все они разного цвета. Если свести изображение к набору линий или границ изменения цвета, мы будем говорить о формах, то есть определять предметы по их контурам или месту, занимаемому ими в пространстве (рис. 1b). Также, отбирая другие свойства предметов, можно заметить, что на рисунке представлена их разная текстура (рис. 1c). Наконец, мы можем говорить о таких качествах, как прозрачность, блеск, светопроницаемость, матовый эффект непрозрачных вещей и т. д. Для обозначения всех этих качеств, так или иначе связанных друг с другом, Сесар Джаннелло предложил термин «cesia» (рис. 1d).

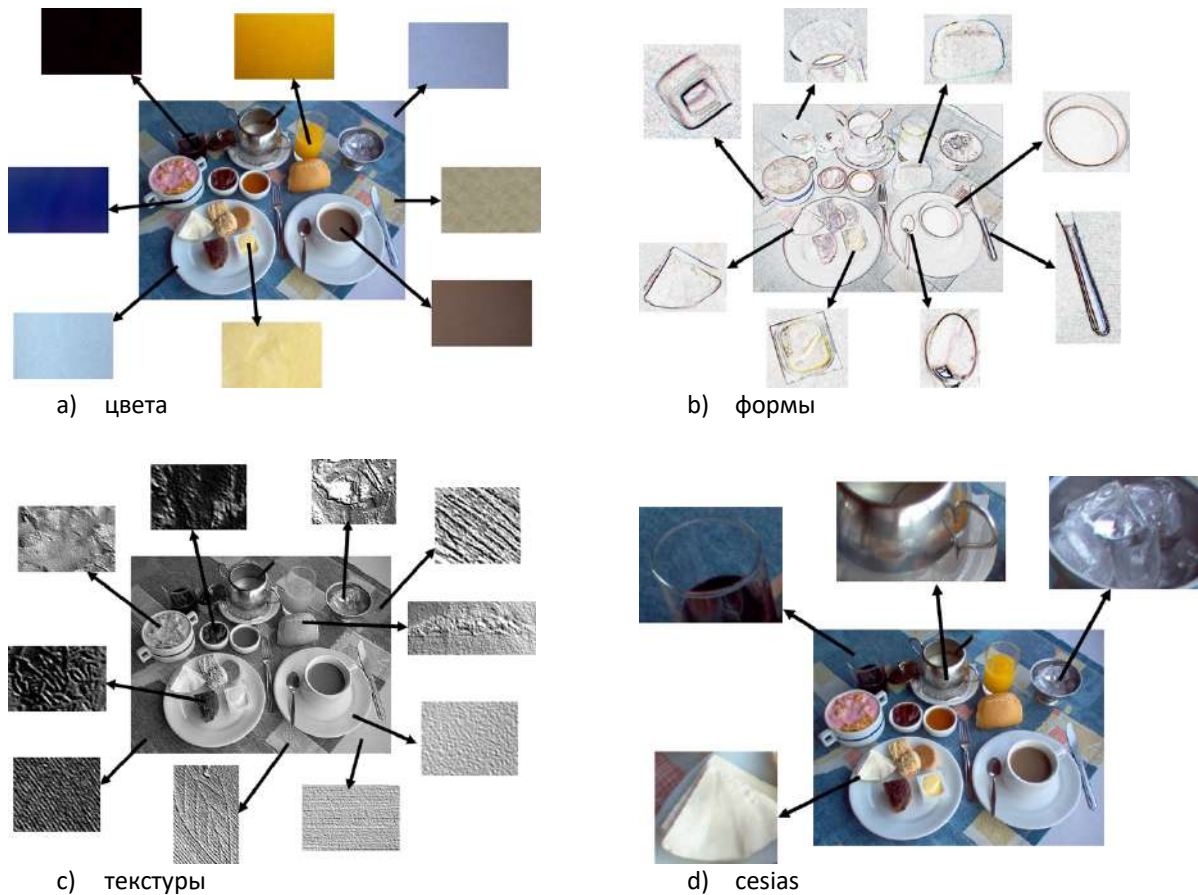


Рисунок 1: Четыре варианта визуального представления одного изображения

«Cesia» следует понимать как визуальный эффект внешнего вида предметов, передающий изменение ощущений вдоль трех осей: прозрачное – непрозрачное, глянцевое – матовое и светлое – темное (Caivano 1991, 1994). Объекты могут по-разному влиять на распространение света в пространстве, и это их свойство становится стимулом для восприятия cesia. Диффузное отражение света от непрозрачного объекта обычно создает матовый эффект. Регулярное или зеркальное отражение придает поверхности вид зеркала. Способность объектов пропускать направленный свет позволяет нам видеть их прозрачность. В то же время объекты, пропускающие рассеянный свет, мы видим как полупрозрачные. Наконец, если объект поглощает весь получаемый свет, он визуально воспринимается как темный или черный (рис. 2).

Поскольку существуют атласы физических образцов цвета, это дает нам возможность создать атлас образцов cesia (см.: Caivano and Doria 1997). Атлас, представленный на рис. 3, составлен из кусочков стекла. На первой пластине атласа у непрозрачных образцов с изменением коэффициента диффузии зеркальный эффект переходит в глянцевый, а глянцевый – в матовый, и они приобретают темные оттенки вплоть до черного. На последней пластине коэффициент диффузии прозрачных образцов изменяется от полной прозрачности к абсолютной непрозрачности через промежуточные стадии полупрозрачности, и они тоже становятся темными или черными. Остальные пластины атласа (каждая демонстрирует изменения коэффициента диффузии и степени темноты) в свою очередь отображают изменения вдоль оси прозрачное – непрозрачное (рис. 3a). На рис. 3b приводится пластина атласа с прозрачными и полупрозрачными образцами

cesia, у которых также изменяются оттенки темного, ее можно использовать для установления визуального совпадения образца с объектом путем сравнения.

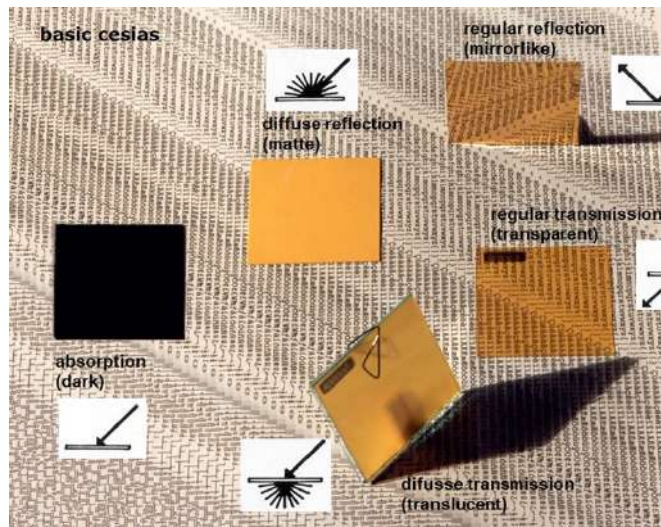


Рисунок 2: Пять базовых ощущений cesia (характеристики восприятия) и пять типов распределения света в пространстве (физические характеристики)

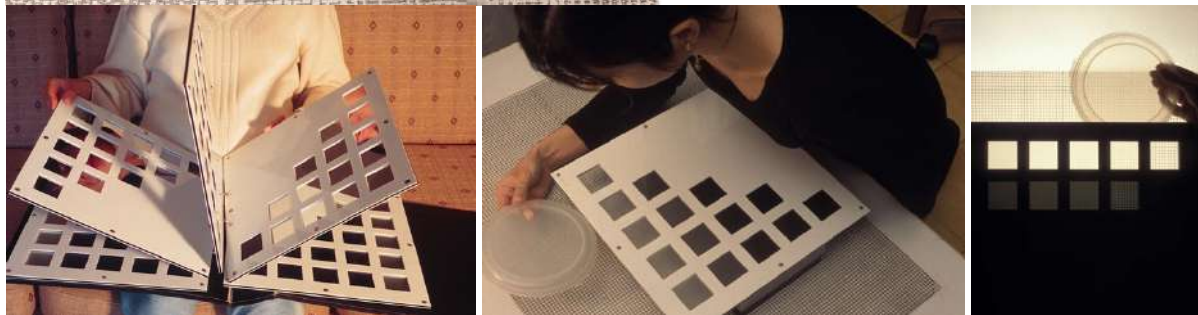


Рисунок 3: а) Прототип атласа образцов cesia из кусочков стекла; б) применение прозрачной/полупрозрачной пластины атласа для визуальной оценки объекта по параметрам проницаемости, диффузии и темноты (три переменных cesia)

Какова связь цвета и cesia? Визуально любой цвет может представлять в совокупности со всеми свойствами cesia. Например, желтый воспринимается как матовый, прозрачный, отражающий или полупрозрачный. А каждое свойство cesia способно проявляться в любом цвете. К примеру, прозрачность можно заметить в синем, зеленом, желтом, красном и любом другом цвете. Cesia взаимодействует с цветом во многих процессах, в том числе и в процессе смешения цветов.

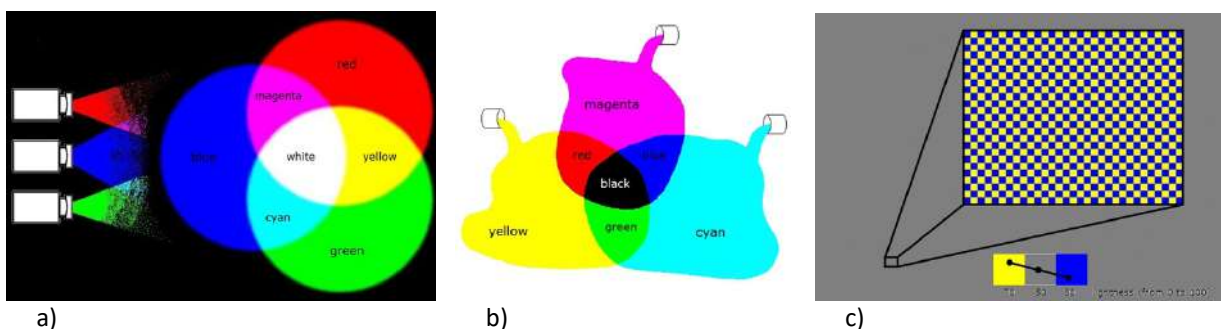


Рисунок 4: а) Аддитивное смешение цветов (лучей света): конечные цвета получаются светлее; б) субтрактивный синтез цвета (чернила): конечные цвета получаются темнее; в) партитивное, или оптическое, цветообразование: светлота конечных цветов является средней относительно светлоты исходных цветов

## ТРАДИЦИОННЫЕ КАТЕГОРИИ СМЕШЕНИЯ ЦВЕТОВ

Что касается смешения цветов, мы обычно считаем само собой разумеющимся, что существует три категории.

1. Аддитивное смешение цветов (сумма цветных лучей света, проецируемая на поверхность) дает цвета более светлые, чем исходные. Например, при аддитивном смешении красного, зеленого и синего пурпурный получается светлее, чем синий и красный, желтый – светлее, чем красный и зеленый, голубой – светлее, чем зеленый и синий, наконец, белый – светлее всех этих цветов вместе взятых (рис. 4а).

2. Субтрактивный синтез дает цвета более темные, чем исходные. Например, при типичном субтрактивном смешении желтого, пурпурного и голубого, красный получается темнее желтого и пурпурного, синий – темнее пурпурного и голубого, зеленый – темнее голубого и желтого, наконец, черный – темнее всех этих цветов вместе взятых (рис. 4b). Данный тип смешения можно выполнить чернилами, красками или наложением слоев пленки, которые действуют как фильтры и выборочно поглощают некоторые спектральные компоненты света, отражающегося или направленного в сторону наблюдателя.

3. Случай, представленный на рис. 4с, отличается от предыдущих. Мы воспринимаем однородный фон рисунка как серый, однако если увеличить его небольшой участок, мы понимаем, что он состоит из желтых и синих ячеек, которые слишком малы для восприятия по отдельности. Это напоминает технику пуантилизма или дивизионизма в живописи. Глаз объединяет небольшие точки, в результате происходит партитивное, или оптическое, цветообразование, создающее цвет, чья светлота является средней относительно светлоты исходных цветов. Например, оптическое смешение желтых и синих точек на рис. 4с образует серый цвет, который является более светлым по отношению к синему и более темным по отношению к желтому. Такое смешение цветов также можно выполнить с помощью вращающихся дисков. Синий и желтый сегменты на диске создадут сероватый цвет, если скорость вращения диска будет очень высокой (см. рис. 5b).

## АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ КАТЕГОРИЙ СМЕШЕНИЯ ЦВЕТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Помимо приведенных примеров аддитивного смешения цветов, субтрактивного синтеза цвета и партитивного цветообразования, все может быть иначе, если рассматривать конкретные случаи, тем или иным образом отклоняющиеся от типичных ситуаций. Принцип, действующий в аддитивном смешении цветов, подтверждается, по-видимому, во всех случаях, поскольку смешение происходит за счет добавления света, и в результате всегда получается более высокий уровень светлоты. Желтый цвет со светлотой 70 % и синий цвет со светлотой 30 % дают белый цвет с идеальным значением светлоты, равным 100 % (рис. 5а). Однако возможны некоторые различия – например, между наложенными друг на друга лучами света и расположенными по соседству небольшими световыми точками (как на экранах компьютеров или телевизоров).

На рис. 5b представлено оптическое цветообразование при помощи вращающихся дисков с матовой цветной бумагой. Светлота желтого цвета составляет 67 %, синего – 58 %, а полученный сероватый цвет имеет промежуточную светлоту в 63 %, что является средним показателем. В контексте этого утверждения о партитивном цветообразовании можно попытаться выяснить, что произойдет, если вместо дисков с матовой поверхностью использовать диски с глянцевой поверхностью или полупрозрачные и прозрачные диски.



Еще один случай – это трихромный процесс печати прозрачными чернилами (желтыми, пурпурными и голубыми), создающий тип смешения цветов, являющийся чем-то средним между аддитивным смешением и субтрактивным синтезом. Там, где отпечатанные точки накладываются друг на друга, получается более темный цвет (субтрактивный синтез цвета), но если точки расположены рядом или разделены, они дают промежуточный цвет (партитивное цветообразование), если смотреть на них с большого расстояния.



Рисунок 5: а) Наложенные друг на друга лучи света создают аддитивное смешение: синий + желтый (красный + зеленый) = белый; конечный цвет более светлый; б) вращающийся диск с цветными наклейками создает партитивное, или оптическое, цветообразование: синий + желтый = серый; конечный цвет имеет светлоту, являющуюся средней между светлотой исходных цветов

В смешивании пигментов бывают случаи, когда правило субтрактивного синтеза цвета не работает. На рис. 6 непрозрачные пигменты желтого и синего цвета разбавлены водой. В емкости в центре эти пигменты смешаны с зеленым. Но полученный цвет не темнее исходных. Вместо этого он имеет светлоту, среднюю между светлотой желтого и светлотой синего, что можно увидеть ниже на диаграмме с числовыми значениями. Таким образом, этот цвет следует рассматривать как результат партитивного цветообразования, а не субтрактивного синтеза цвета. Данная проблема была выявлена и подробно описана Дэвидом Бриггсом (2012): «Физическое смешение красок часто описывается просто как субтрактивное, но на самом деле в нем обычно задействован и компонент аддитивного смешения цветов с эффектом усреднения светлоты».



Рисунок 6: Смесь непрозрачных пигментов с водой. Это результат партитивного цветообразования. Полученный зеленый цвет имеет среднюю светлоту относительно светлоты исходных цветов

Матовость как одно из свойств cesia здесь является ключевым аспектом. Степень матовости красок измеряется нанесением тонких слоев на черно-белый контрастный рисунок. Шкала на рис. 7 демонстрирует изменение переменной вдоль оси

прозрачное – непрозрачное. В левой части шкалы прозрачный слой лака позволяет очень четко видеть контрастный черно-белый узор фона. При постепенном смешивании лака с матовой черной краской темнота цвета на шкале увеличивается, а прозрачность уменьшается. Таким образом, контрастный черно-белый рисунок фона постепенно исчезает под слоем краски. Еще одна возможность – это постепенное смешивание прозрачного лака с матовой белой краской (рис. 7b). В этом случае матовость возрастает в правой части шкалы, проходя промежуточные стадии полупрозрачности, но сохраняя максимальную светлоту (иными словами, темнота стремится к нулю). Черно-белый контрастный рисунок фона снова постепенно исчезает, теперь уже под слоем белой краски (см.: Caivano et al. 2004). Такая же шкала изменения от прозрачного до матового белого изображена на рис. 7c, где прозрачная вода постепенно смешивается с непрозрачным молоком.

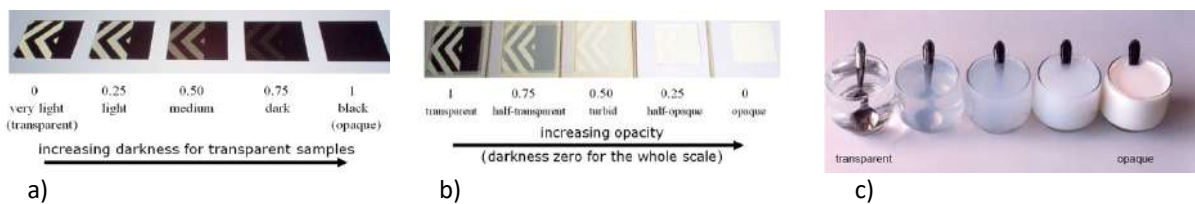


Рисунок 7: Переменная прозрачности – непрозрачности: а) смешение прозрачного лака с черной краской – прозрачные образцы становятся темнее; б) смешение прозрачного лака с белой краской – образцы теряют прозрачность и становятся непрозрачными (и более светлыми); в) шкала прозрачности – непрозрачности, созданная с помощью смешивания воды и молока

На рис. 8а изображены те же пигменты синего и желтого цвета, что и на рис. 6, но здесь они не разбавлены водой, а смешаны в пасту с очень небольшим ее содержанием. Полученный зеленый цвет также является промежуточным по светлоте, подтверждая правило партитивного цветообразования. Таким образом, смешивание пигментов не следует рассматривать как синоним субтрактивного смешения цветов. Правильность этого вывода подтверждается еще больше, если смешать эти же пигменты в форме порошка, вообще не используя воду (рис. 8б). В этом случае становится очевидным, что зеленый цвет является результатом партитивного цветообразования, когда отдельные мелкие синие и желтые крупинки порошка не смешиваются, но располагаются близко друг к другу, соединяясь только в визуальном восприятии смотрящего.



Рисунок 8: Смешивание пигментов как результат партитивного цветообразования; конечный зеленый цвет является промежуточным по светлоте. а) Смешивание пигментов в пасту (с небольшим содержанием воды); б) смешивание пигментов в форме порошка

Если прозрачные слои наложить друг на друга, результатом станет субтрактивное смешение цветов: полученный зеленый будет темнее желтого и голубого, как видно из диаграммы с числовыми данными светлоты (рис. 9а). Но если накладывать друг на друга слои не идеально прозрачной цветной пленки, а более или менее полупрозрачной, то в результате получится смешение, близкое к партитивному цветообразованию. Стоит заметить, что зеленый в центре рис. 9б остается немного темнее, но по светлоте он уже ближе к голубому слою. По мере увеличения прозрачности получается более светлый зеленый цвет, занимающий промежуточное положение между желтым и голубым, становясь, таким образом, продуктом партитивного цветообразования.

Гельмгольц (1952) подробно описывает результаты применения разных процедур смешения цветов. Одной из них является смешение спектральных лучей света. Гельмгольц берет красный, зеленый и фиолетовый и, смешивая их, получает белый. Далее он описывает, что происходит с различными материалами: прозрачными красителями, менее прозрачными красками и порошковыми формами. Наконец, он говорит о вращающихся дисках с секторами из бумаги разных цветов, а также комбинации из стекла и бумаги двух цветов, один из которых виден при отражении света, а второй – при его пропускании сквозь объект.

Харальд Кюпперс учел данные аспекты при разработке законов синтеза цвета:

- аддитивный синтез (например, цветное телевидение);
- субтрактивный синтез (например, цветная фотография);
- слои прозрачного и непрозрачного цвета (слои краски разного цвета, наложенные друг на друга);
- интегрированное смешение (непрозрачные краски, смешанные друг с другом и нанесенные одним слоем);
- оптическое смешение (объединение в один цвет небольших точек разного цвета, которые не воспринимаются по отдельности);
- быстрое смешение (передача цветовых стимулов через очень короткие промежутки времени) (Küppers 1978 (1980): 145–182).

Кюпперс утверждает, что «существует, по меньшей мере, одиннадцать законов смешения цветов» (Küppers 1978 (1980): 177).

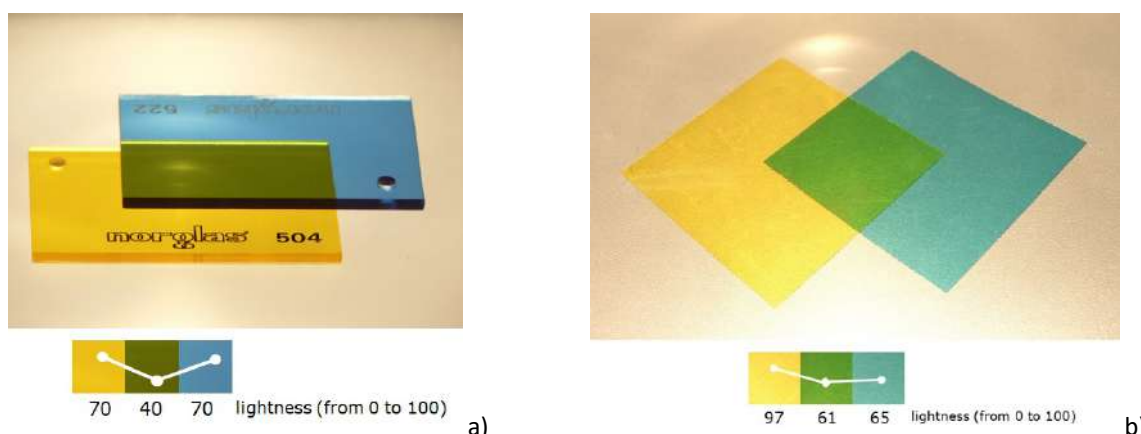


Рисунок 9: а) Наложение прозрачных акриловых пластин создает субтрактивный синтез цвета: голубой (абсорбирующий красный) /желтый (абсорбирующий синий) = зеленый; конечный цвет получается темнее. б) Наложенные друг на друга слои полиэстера не являются идеально прозрачными и, обладая определенной степенью полупрозрачности, создают субтрактивную смесь, однако светлота полученного зеленого цвета приближается к пределу, за которым полученная смесь стала бы результатом партитивного цветообразования

## СИСТЕМЫ ЦВЕТОВОГО ПОРЯДКА И СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

Что в данном контексте происходит с системами цветового порядка? В большинстве случаев форма той или иной системы связана с типом смешения цветов, который она представляет. Разница между аддитивным и субтрактивным смешением стала проявляться лишь в XIX столетии, благодаря работам Гельмгольца, Грассманна, Максвелла и др. В 1852 году Гельмгольц описал свои опыты по смешению цветов с применением излучений или пигментов и подчеркнул, что в обоих случаях он получал разные результаты. В «Справочнике по психологической оптике» Гельмгольц (Гельмгольц 1867: 276) продолжил разработку этой темы и использовал там уже термины «аддитивный» и «субтрактивный» для различения процессов смешения цветов.

Как только это различие стало очевидным, системы, представляющие смешение световых излучений, и системы, которые описывают смешение пигментов, стали изображать при помощи разных форм. Первые – в форме конусов (обычно с одной вершиной, где расположен черный цвет), вторые – в форме двойных конусов или сфер (с двумя полюсами, для белого и черного) (рис. 10).

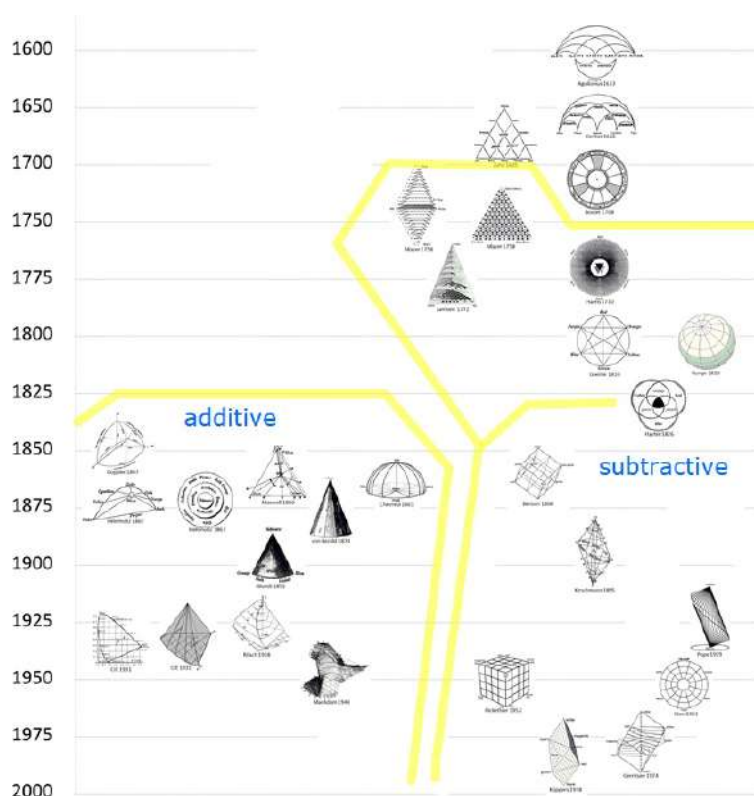


Рисунок 10: В середине XIX века различие между аддитивным смешением цветов и субтрактивным синтезом цвета позволило изображать системы цветового порядка при помощи различных форм

Однако существуют трудно классифицируемые случаи – например, двойной конус Оствальда. Здесь стоит ненадолго вернуться к Максвеллу и Гельмгольцу. Одним из методов смешения цветов, который применяли Максвелл и Гельмгольц (последний – наряду с другими методами), было вращение дисков с сегментами из бумаги разного цвета на поверхности (Maxwell 1855, Peruzzi and Roberti 2019). Данный метод был рассмотрен выше как пример партитивного цветообразования.

Оствальд также применял этот метод: на вращающихся дисках было по три сегмента – один черного цвета, один белого цвета и один с разными оттенками или цветами. Таким путем и с опорой на данные психофизических шкал он произвел расчеты и

получил промежуточные цвета в каждом одноцветном сегменте круга оттенков (см.: Jacobson et al. 1948). В то время этот метод рассматривался как способ аддитивного смешения цветов. Категория партитивного цветообразования тогда еще не существовала. Позднее, в XX веке, стали утверждать, что данный метод пригоден именно для партитивного цветообразования, называвшегося также оптическим, а не для аддитивного смешения цветов.

### ГРАДУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМ УПОРЯДОЧЕНИЯ ЦВЕТОВ В СООТНОШЕНИИ С ТИПАМИ СМЕШЕНИЯ ЦВЕТОВ

Системы цветового порядка изменялись на протяжении более двух тысяч лет: от одномерных линейных шкал, которые постепенно перешли в двухмерные схемы в форме кругов, квадратов и треугольников, до современных моделей в трех измерениях (см.: Kuehni 2003, Kuehni and Schwarz 2008, Spillmann 2009, Baumann et al. 2011). Трехмерные системы стали появляться в XVIII – XIX веке в форме пирамид, конусов, сфер и кубов, а в XX веке были созданы и другие, более сложные и замысловатые формы. Эволюция этих систем цветового порядка происходила параллельно с изменениями теоретических концепций о цвете и была связана с практическими потребностями в создании различных цветов при помощи смешения пигментов, световых излучений или других веществ.

К 2004 году я начал изображать этот широкий спектр систем цветового порядка в виде этапов эволюции или дерева, ветви которого разделены в соответствии с теориями цвета и практиками смешения цветов. Идея заключалась в том, что форма, в которой изображается та или иная система цветового порядка, связана с приписываемой этой системе теорией цвета, а также типом смешения цветов, который она иллюстрирует (рис. 11).

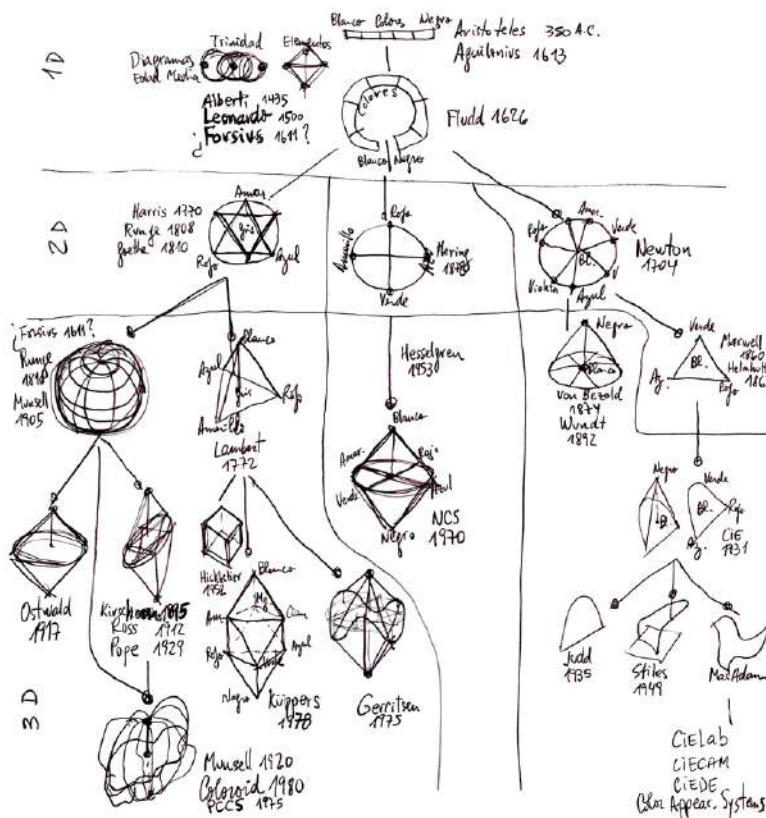


Рисунок 11: Этапы эволюции систем цветового порядка (эскиз выполнен в 2004 г.)

Существуют системы, основанные на трехкомпонентной теории цветового зрения и законе аддитивности и разработанные для предсказания результатов смешения цветных излучений. Они используются в колориметрии, для цветопередачи на телевизорах и экранах и в осветительной технике в целом. Другие системы предназначены для объяснения процесса смешения пигментов. Они в основном базируются на принципах субтрактивности и используются в живописи, полиграфии, дизайне, архитектуре и т. д. Однако некоторые модели демонстрируют определенную двусмысленность. Их можно рассматривать как в некотором роде гибридные системы или промежуточные этапы, представляющие другие случаи смешения цветов, поскольку иногда трудно провести четкое разделение между аддитивным смешением цветов, партитивным цветообразованием и субтрактивным синтезом цвета (рис. 12).

Отдельного упоминания заслуживает система NCS (Natural Color System), основанная на теории противоположных цветов Э. Геринга, который не ставил перед собой цели описать все виды смешения цветов. Эта система трактует цвет как визуальное ощущение независимо от того, как он был создан или какого рода смешение цветов было для этого необходимо (SIS 1979, Hård and Sivik 1981).

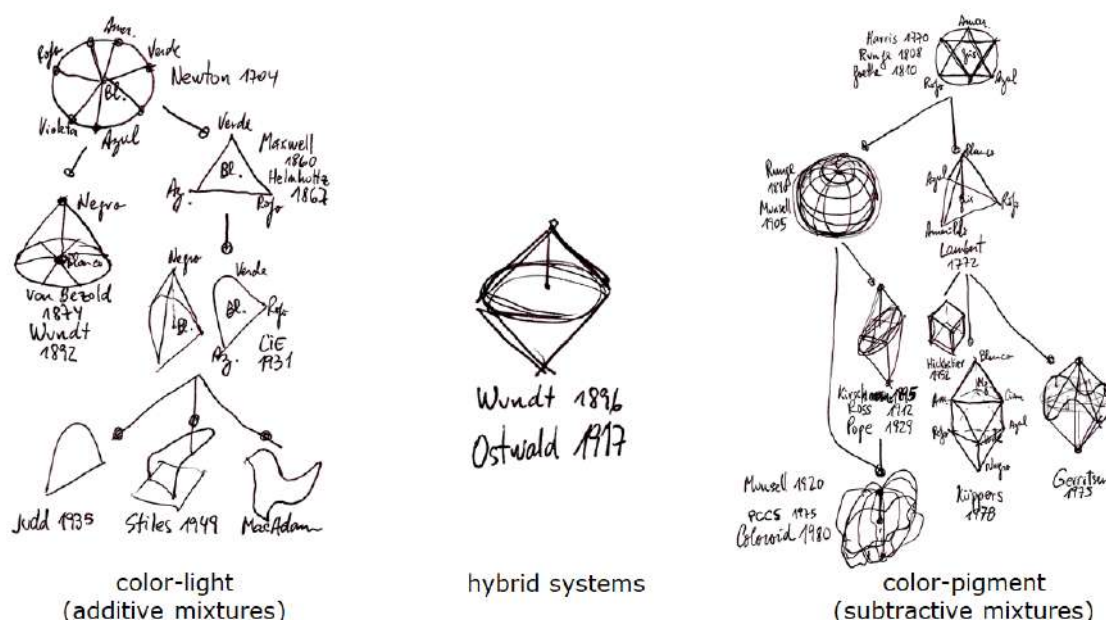


Рисунок 12: Типичные формы систем упорядочения цветов, представляющие аддитивное смешение световых излучений (слева), субтрактивного смешения пигментов (справа) и гибридные, или промежуточные, системы (в центре).

В целом, если сосредоточиться исключительно на взаимосвязи между системами цветового порядка и смешением цветов, можно говорить о трех основных случаях (рис. 13):

1. Трихроматические красное, зеленое и синее исходные световые излучения смешиваются при помощи аддитивного синтеза в белый у основания конуса; светлота уменьшается в сторону черного, который размещен у вершины конуса.
2. Непрозрачные пигменты, отображаемые вокруг наклонной сферы оттенков (желтый ближе к белому, а фиолетовый ближе к черному), смешиваются в средний серый цвет в середине ахроматической оси ближе к центру сферы (как правило, неправильной формы).

3. Трихроматические исходные пигменты голубого, пурпурного и желтого цвета, действующие как идеально прозрачные субтрактивные фильтры, смешиваются в черный в центре треугольника, в то время как белый находится за пределами этой поверхности, где субтрактивные пигменты не имеют никакого влияния.

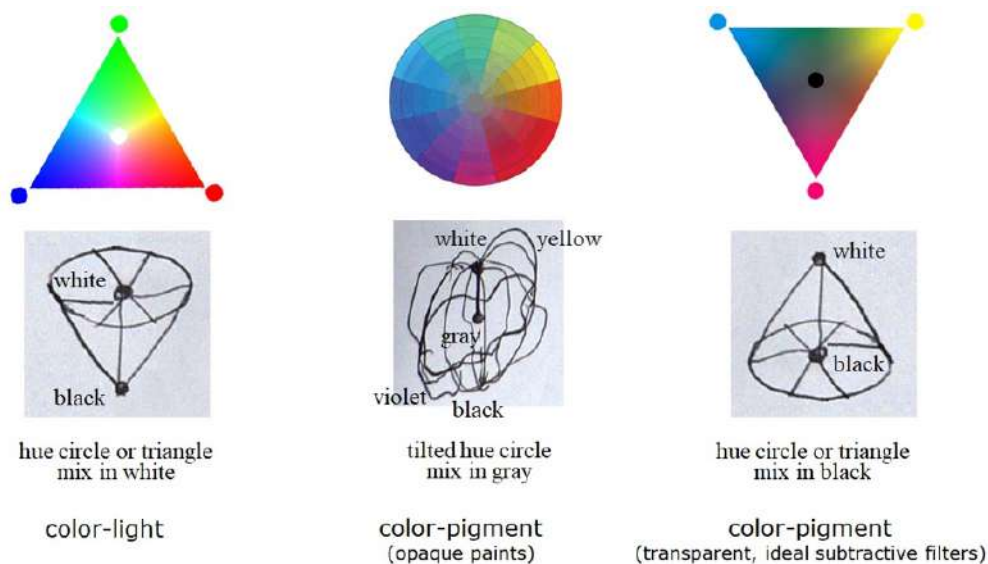


Рисунок 13: Три типичные формы систем цветового порядка, представляющие смешение световых лучей (слева), непрозрачных пигментов (в центре) и идеально прозрачных фильтров (справа)

Таким образом, существуют различные случаи смешения цветов, которые можно изучать, рассматривая поэтапные изменения между аддитивным смешением (на одном полюсе) и субтрактивным синтезом (на противоположном). Основываясь на критериях, разработанных Кюпперсом, представляется возможным предложить следующую модель градуальных чередований:

Световые излучения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• наложенные друг на друга</li> <li>• находящиеся рядом друг с другом и имеющие небольшой размер (без наложения)</li> <li>• быстро чередующиеся прерывистые</li> </ul>
Небольшие цветные точки:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• наложенные друг на друга</li> <li>• находящиеся рядом друг с другом</li> <li>• отделенные друг от друга (на белом фоне)</li> </ul>
Цветные поверхности, вращающиеся или движущиеся на большой скорости:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• с матовым покрытием</li> <li>• с глянцевым покрытием</li> </ul>
Непрозрачные пигменты:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• смешанные в порошок</li> <li>• смешанные в пасту (с постепенным изменением содержания воды)</li> <li>• разбавленные водой</li> </ul>
Полупрозрачные пигменты:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• с увеличением прозрачности (от почти непрозрачных до почти прозрачных)</li> </ul>
Прозрачные чернила:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• предварительно смешанные и нанесенные одним слоем</li> <li>• слои наносятся поочередно, после высыхания предыдущего</li> </ul>

Данные случаи нуждаются в экспериментальной проверке, при которой следует учитывать, что степень прозрачности – полупрозрачности – непрозрачности вещества, а также глянцевое или матовое покрытие поверхностей будут существенно влиять на процесс и результат смешения цветов. Именно поэтому cesia играет важную роль. Вместо трех отдельных или несвязанных типов смешения цветов мы можем создать модель, основанную на наличии градуальной смены этапов между аддитивным смешением цветов и субтрактивным синтезом цвета, в которой партитивное цветообразование является промежуточным этапом.

Таким образом, представляется возможным предложить трехмерную модель-схему градуального преобразования, включающую в себя различные цветовые системы, которые позволяют создавать любую смесь цветов между полюсами аддитивного смешения и субтрактивного синтеза. На одном полюсе смешение трех цветных световых излучений (как правило, красного, зеленого и синего) в результате дает белый цвет. Между полюсами оптическое смешение основных цветов дает средний серый цвет. На другом полюсе субтрактивное смешение прозрачных чернил, играющих роль поглощающих свет слоев (например, при цветной печати), в результате дает очень темный серый, почти черный цвет. Нижняя или средняя части данных моделей могут состоять из треугольников или хроматических кругов, разделенных на части по количеству рассматриваемых основных цветов. Эта поверхность постепенно движется вниз (от белого к черному) по ахроматической шкале (рис. 14).

Данное предложение, или схема, или гипотеза, нуждается в дальнейшей разработке и проведении испытаний. Однако я убежден, что такой градуалистский подход может стать способом расширения наших знаний не только о системах упорядочения цветов, но и в области теории цвета в целом, если эту идею применить к различным аспектам исследования цвета.

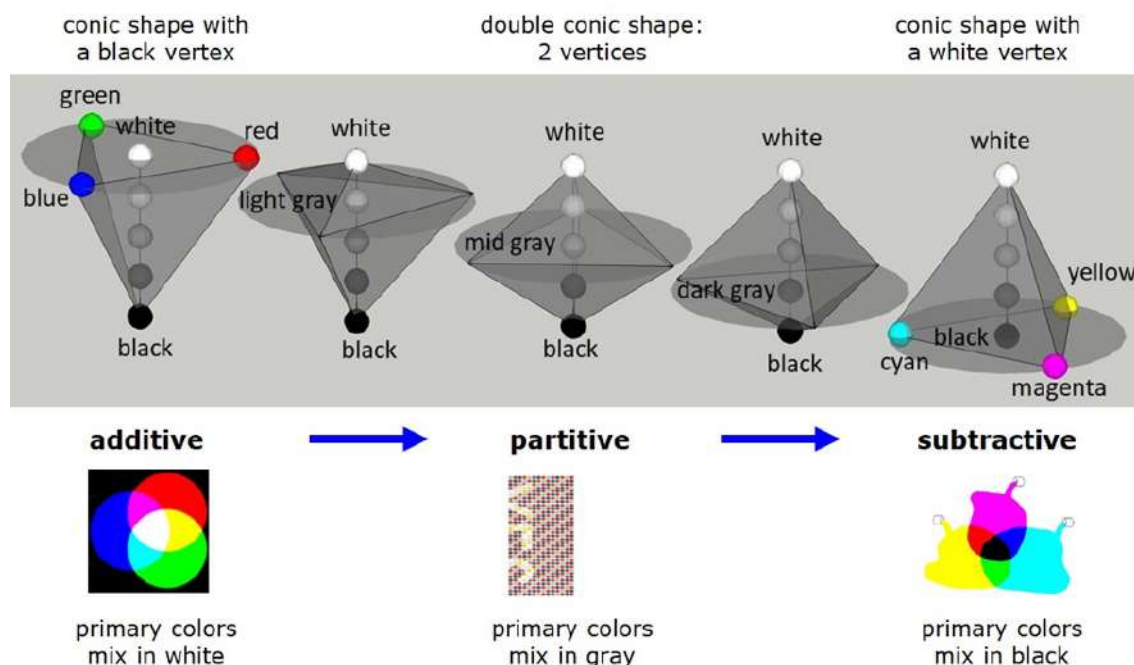


Рисунок 14: Трехмерная модель-схема градуального преобразования систем упорядочения цветов от совершенного аддитивного синтеза к идеальному субтрактивному смешению



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Baumann, U., N. Silvestrini and K. Stromer. 2011. Colour order systems in art and science, [www.colorsystm.com](http://www.colorsystm.com).
- Briggs, D. 2012. Part 6: Paint mixing. In: The dimensions of colour, <http://www.huevaluechroma.com/061.php>.
- Caivano, J. 1991. Cesia: a system of visual signs complementing color. *Color Research and Application* 16(4):258–268.
- —. 1994. Appearance (cesia): construction of scales by means of spinning disks. *Color Research and Application* 19(5):351–362.
- Caivano, J., and P. Doria. 1997. An atlas of cesia with physical samples. In: *AIC Color 97, Proceedings of the 8th Congress of the International Color Association*, vol. I. Kyoto: The Color Science Association of Japan, 499–502.
- Caivano, J., I. Menghi and N. Iadisernia. 2004. Cesia and paints: an atlas of cesia with painted samples. In: *AIC 2004 Color and Paints, Proceedings of the Interim Meeting of the International Color Association*. Porto Alegre, Brazil, 113–117.
- Hård, A., and L. Sivik. 1981. NCS-Natural Color System: a Swedish standard for color notation. *Color Research and Application* 6(3):129–138.
- Helmholtz, H. L. von. 1852. On the theory of compound colours. *Philosophical Magazine* 4:519–534.
- —. 1867. *Handbuch der Physiologischen Optik*. Hamburg: Leopold Voss.
- Jacobson, E., W. Granville and C. Foss. 1948. *Color harmony manual* [featuring the Ostwald color system]. Chicago: Container Corporation of America.
- Kuehni, R. 2003. *Color space and its divisions: color order from antiquity to the present*. New York: John Wiley and Sons.
- Kuehni, R., and A. Schwarz. 2008. *Color ordered: a survey of color systems from antiquity to the present*. Cary, North Carolina: Oxford University Press.
- Küppers, H. 1978. *Das Grundgesetz der Farbenlehre*. Cologne: DuMont. Spanish translation by M. Faber-Kaiser, *Fundamentos de la teoría de los colores*. 1980. Barcelona: Gustavo Gili.
- Maxwell, J. C. 1855. Experiments on colour, as perceived by the eye, with remarks on colour-blindness. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* XXI, part 2, 275–299.
- Peruzzi, G., and V. Roberti. 2019. The color top and the distinction between additive and subtractive color mixing. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, October, 138–145.
- Spillmann, W., ed. 2009. *Farb-Systeme 1611-2007: Farb-Dokumente in der Sammlung Werner Spillmann*, with texts by K. Gerstner, V. M. Schindler, S. Wettstein, I. Haupt, L. Sibillano and W. Spillmann. Basel: Schwabe Verlag.
- SIS (Swedish Standards Institution). 1979. *NCS colour atlas*, Swedish Standard SS 01 91 02. Stockholm: SIS.