

**Л.Д. Ложкин, В.А. Неганов**

**Цвет, его измерение, воспроизведение и  
восприятие в телевидении**

**Монография в двух частях**

**Часть I**

**Самара, 2013**

**УДК 535.65: 621.397**

**Рецензенты:**

Заведующий кафедрой теории информатики Арзамасского государственного педагогического института им. А.П. Гайдара, действ. чл. АИО, д.п.н., профессор

**Вострокнутов И.Е.**

Заведующий кафедрой общей информатики СГАУ, д.т.н., профессор

**В.А. Фурсов**

**Ложкин Л.Д., Неганов В.А.**

Цвет, его измерение, воспроизведение и восприятие в телевидении. В двух частях. Самара: ПГУТИ. 2013 – 286 с.

**ISBN 978-5-904029-36-4**

В монографии излагается история развития измерений света и цвета, роль цвета в деятельности общества и человека. Рассматриваются колориметрические системы, методы и приборы измерений цвета. Дается анализ погрешности измерений различных методов. Авторами монографии разработан программный комплекс по измерению порогов цветоразличения в условиях телевизионного наблюдения. На основе дифференциальной геометрии авторы дают методику и разрабатывает строго равноконтрастные цветовые системы как двумерные, так и трехмерные.

Рассмотрены вопросы цветовоспроизведения и цветовосприятия в телевидении, показаны цветовые искажения и предлагаются метод коррекции цветовых искажений.

В монографии приведены результаты более 40 летнего опыта работы одного из авторов в области колориметрии.

Данная монография рассчитана на студентов ВУЗов старших курсов, аспирантов и специалистов, работающих в области цветовоспроизведения, обработки изображений, цветовых измерений и других областях, связанных с цветовосприятием.

УДК 535.65: 621.397

ФГОБУ ВПО ПГУТИ, 2013

Ложкин Л.Д., 2013

Неганов В.А., 2013

**ISBN 978-5-904029-36-4**

# Введение

Данная монография посвящена науке о цвете, его измерении, воспроизведению в телевидении (ТВ) и восприятии. Но прежде, чем начать разговор о цветовых измерениях, рассмотрим природу цвета. Цвет нельзя отнести к простой категории, о цвете довольно сложно дать толковое объяснение тому, кто никогда не ощущал цвета.

Но, тем не менее, действие цвета на человека замечено давно: цвет влияет на все его физиологические системы, активизируя или подавляя их деятельность, цвет создает, то или иное настроение, внушает определенные мысли и чувства. Воздействие цвета можно (в целях изучения) разделить на физиологическое и терапевтическое, психологическое и эстетическое; этими факторами обусловлены цветовые ассоциации, семантика и символика цвета, а также использование цвета в искусстве. Разумеется, все эти факторы, и категории тесно связаны, и порой невозможно их разделить.

В эпоху античности [1] формировалось иное отношение к цвету. Наряду с сохраняющимся отношением к цвету, как к религиозно-мистическому, магическому символу, возникает также и естественнонаучное отношение. Промежуточным вариантом между этими формами отношения можно считать попытки ряда видных древнегреческих фи-

лософов создать цветовую систематику стихий, но уже не мистических, а природных.

Эмпедокл, выделяя четыре основные стихии, наделяет каждую из них своим цветом. Воде соответствует черный цвет, земле — желтый, огню — красный, воздуху — белый. Если Эмпедокл, определяя цвета стихий, опирался на зрительные впечатления, то Аристотель, желая установить их «истинный» цвет, использовал экспериментальный метод.

Согласно Аристотелю, «основных» цветов — три. Белому (бесцветному) соответствует вода, воздух и земля. Желтый — цвет огня, а черный — цвет разрушения или переходного состояния. Отнесение стихии «земля» к группе белого объясняется результатами экспериментов Аристотеля по прокаливанию почвы, которая, в конце концов, становилась белой. Внимательно разглядывая пламя огня, Аристотель пришел к выводу, что оно скорее желтое, чем красное. Подобный экспериментальный подход, естественно, разрушал мистический ореол цветов, низводил их до обычных явлений физического мира.

Цвет, подобно красоте, рождается в сознании наблюдателя. От момента появления науки как таковой интерес к природе цветового восприятия не ослабевает, но, несмотря на современное развитие технологии, фундаментальные научные вопросы по-прежнему остаются без ответа. Многие ученые пытаются объяснить цвет, апеллируя лишь к физическим характеристикам света и объектам, однако без наблюдателя, т.е. человека, никакого цвета не бывает. Часто спрашивают: «Существует ли звук падающего дере-

ва, если нет слушателя?» С тем же успехом этот вопрос можно отнести и к цвету его листьев... [2].

Действительно, наука возникает там, где существует измерение, и не каких-либо любых, а лишь воспроизводимых величин. Однако, измерение – это объективный процесс. Следовательно, и величины должны быть объективными, как, например, в физиологии (пульс, артериальное давление, ЭЭГ, ЭКГ и т.п.). Мы же будем говорить о возможности измерения психологических величин, типа темперамента, тендерных характеристик, возрастных функций и т.п. Какие же могут быть объективные характеристики в субъективном представлении индивида? Разумеется, цвет, который, с одной стороны, представляет образно-смысловое (семантическое) пространство интеллекта (психического), а, с другой стороны, может быть достаточно точно измерен как объективная величина колориметрии. Однако далее мы увидим, что цвет не так прост, как это кажется.

Данная монография содержит введение, десять глав и заключение. Коротко о вопросах, рассмотренных в монографии.

Первая глава посвящена историческим аспектам понятия цвета. Здесь рассмотрены представления, о цвете начиная с античных времен. Далее рассказывается об опытах И. Ньютона и современные представления о цвете.

Во второй главе рассматриваются вопросы влияния цвета на человека в частности и на общество в целом. Вопросы терапевтического влияния цвета на физическое и психическое состояние человека, устройство глаза человека и вопросы зрительного восприятия излучения. Даны определения яркости, светлоты, цветового тона и насыщенности.

Приведены систематизация и количественное выражение цветов, цветовые уравнения и основы колориметрии.

Третья глава монографии посвящена истории развития науки измерения света и цвета.

В четвертой главе описываются современные цветовые системы, дан анализ наиболее распространенных цветовых систем.

методы и аппаратура измерения цвета и цветности. Приводится анализ погрешности измерения цветовых координат, присущей рассмотренным методам измерения.

Пятая глава монографии посвящена вопросам измерения цвета и цветности. Приводится анализ погрешности измерения цветовых координат, присущей рассмотренным методам измерения.

В шестой главе рассмотрены вопросы высшей колориметрии, цветовоспроизведения и вопросам сравнения цветов и оценки цветовых различий.

В седьмой главе рассматриваются некоторые вопросы измерений порогов цветоразличения, приводятся некоторые методики измерения порогов цветоразличения.

Восьмая глава посвящена вопросам построения равноконтрастных цветовых систем, вплоть до строго равноконтрастной, как на плоскости, так и в трехмерном пространстве на основе дифференциальной геометрии.

В девятой главе рассмотрены вопросы воспроизведения цвета ТВ, показаны возможные цветовые искажения, возникающие при этом.

В десятой главе рассмотрены модели цветовосприятия, вопросы адаптации. Показаны цветовые искажения, вы-

званные внешним источником освещения. Предлагаются методы коррекции этих искажений.

Автор выражает благодарность: доктору технических наук, профессору **Льву Леонидовичу Полосину** и кандидату технических наук, доценту **Чонгару Григорьевичу Постарнак** за советы и пожелания, которые были учтены в настоящей монографии.

# 1. Понятие цвета

## 1.1. Представления о цвете в античное время

В этом разделе рассмотрим представление древних мыслителей о цвете.

Весьма выразительным и оригинальным образцом пластического восприятия мира в специальной области является учение Демокрита (460 – 370 г.г. до н.э.) о цветах. (У Демокрита был целый трактат под названием "О цветах"). Ученик Аристотеля (384 – 322 г.г. до н. э.) Теофраст оставил подробное изложение учения Демокрита о цветах с обширной его критикой. Эти материалы в издании Дильса занимают до десятка страниц, и дать соответствующий анализ их – значило бы написать большую специальную работу. Здесь же нам придется ограничиться установлением общих принципов этого анализа.

Итак, приведем центральную часть теофрастовского изложения учения Демокрита.

Согласно Демокриту существуют четыре простых цвета. Именно, белым является то, что гладко. Действительно все, что не является шероховатым, не создает тени и не является непроницаемым, все таковое является блестящим. А блестящее должно быть прозрачным. Именно в таком роде они являются лишенными тени, светлыми.



Черное же состоит из противоположных, т.е. из шероховатых, неровных и неодинаковых. Потому-то ведь они и должны вызывать тени.

Красное, состоит из таких же фигур, что и теплое, но только из больших по размеру или по плотности. Действительно, если при подобии фигур их соединения будут большими по размеру, то получается и более красное. Доказательством же того, что красное состоит из таких фигур, является следующее. Когда мы нагреваемся, мы краснеем, как и прочие тела, когда они подвергаются воздействию огня, пока не станут огневидными. А более красными являются тела, состоящие из значительных по размеру, по плотности фигур, как, например, пламя и уголь от зеленого или сухого дерева. Таковыми же является и железо, и прочее, что подвергается действию огня, ибо то, что обладает наибольшим и тончайшим огнем, то имеет и наибольший блеск, а то, что содержит более густой огонь и в меньших размерах, – то является более красным. Вследствие этого более красные тела содержат и меньше тепла. Ведь теплым является тонкое.

Желто-зеленое состоит из смеси обоих начал, плотного и пустого. При этом его оттенки меняются в зависимости от их положения и порядка.

Итак, этими фигурами пользуются простые цвета. Каждый цвет становится более чистым постольку, поскольку из менее смешанных фигур он состоит.

Прочие цвета получаются из смешения этих простых.

Так, например, золотистый, медный и всякий подобный же состоит из белого и красного, поскольку блеск они имеют от белого, а красноватость – от красного, ибо вслед-

ствие смешения красное попадает в пустые промежутки белого. Если к ним присоединится желто-зеленое, то получается самый красный цвет. При этом необходимо, чтобы примеси зеленого были небольшие, так как больших примесей не может быть при таком соединении белого и красного. Оттенки будут различные – в зависимости от того, берется ли (данного цвета) больше или меньше.

Пурпурный цвет состоит из белого, черного и красного, заключая в себе наибольшую долю красного, меньшую черного и среднюю – белого. Вследствие этого он и оказывается приятным для ощущения. Что здесь участвует черное и красное, это – для зрения очевидно; а что тут и белое, это показывает блеск и прозрачность, ибо эти последние создаются белым.

Лазоревый состоит из сильно-черного и желто-зеленого, содержа большую долю черного. Зеленое – из пурпурного, ближе к оранжевому и лазоревому или из желто-зеленого и пурпуроподобного. Такой цвет божественный, и ему присущ блеск. Темно-синий из лазоревого и огневидного, из округлых, имеющих вид иголки фигур, чтобы черному было присуще сияние.

Ореховый цвет состоит из желто-зеленого и рода темно-синего, если к нему примешивается желто-зеленый (добавление Дильса: "и белый"), получается цвет, похожий на пламя, потому что исключаемая то, что не бросает тени, и то, что является окрашенным в черное. Почти так же и красное, если его примешать к белому, производит желто-зеленое светлое, а не черное. Вследствие этого и растения имеют сначала желто-зеленую окраску до нагревания и разложения на части.

Вот о каком большом числе цветов упоминает Демокрит, что в соответствии с тем или иным смешением существует бесчисленное количество цветов и вкусовых качеств, если одно отнимать, другое прибавлять и одного примешивать больше, а другого – меньше. Никакой цвет в этих условиях, не будет похож ни на какой другой".

Одна из основных причин сложностей в интерпретации присущего грекам способа передачи цвета заключается в том, что все относящиеся к этому доказательства принадлежат, в основном, к области литературы. Но всегда существует опасность того, что литературное употребление может значительно отличаться от обыденного языка. Следующим шагом будет рассмотрение специальных свидетельств, полученных из философских рассуждений о цвете в VI и IV веках до н.э.

Согласно историческим источникам Эмпедокл (444 г. до н.э.) говорил о четырех основных цветах: белом, черном, красном и желтом; термины, используемые в этом источнике, однако, возможно, не те, что употреблял сам Эмпедокл: *leukos* (белый), *melas* (черный), *eruthros* (красный) и *ochros* (желтый). Демокрит, согласно Теофрасту, также выделял четыре основных цвета: белый (*leukon*), черный (*telan*), красный (*eruthron*) и *chlolon*, по всей вероятности, желто-зеленый. Другие цвета образуются смешением указанных: золотой и бронзовый — смешением белого, который придает им яркость, и красного; некий «прекрасный цвет» — добавлением *chlolon*; пурпурный (*porphureon* — здесь, по крайней мере, красно-пурпурный) образуется из белого, черного и красного, причем белый «придает ему свою яркость и блеск»; вайда-синий (обозначаемый через

название растения) — из «собственно черного» и chlōron; травянисто-зеленый (prasinon, от названия растения rgaason) — из пурпурного и вайда-синего или из chlōron и оттенка пурпурного; индиго (kuanoun) — из вайда-синего и «огнеподобного», при этом «атомы окружаются и выделяются так, чтобы черный сохранил свой блеск»; и, наконец, орехово-коричневый — из chlōron и оттенка типа индиго.

Из последовательно проводимого принципа атомизма и вещевизма у греков вытекал ряд удивительных особенностей в подходе к цветам, что ярче всего проявилось у Платона ("Тимей") и у псевдо-Аристотеля ("О цветах"), но что достаточно заметно уже у Демокрита.

**а)** Так как каждый цвет мыслился в виде некоего цветного физического тела, то вся та известная неопределенность реальной окраски и взаимосвязь такого тела с прочими телами, без которых немислим цвет в вещах, остаются у греков характерными и для самих цветов. Вот почему так трудно передавать по-русски греческую цветовую терминологию. Каждый греческий термин обозначает целую группу цветов, за ней к тому же часто лежит впечатление от какого-либо вполне определенного физического предмета. А так как часто мы не знаем, какие именно физические тела предопределили данное понимание цвета, то, естественно, приходится путаться в переводах цветовых терминов и в раскрытии подлинной характеристики того или другого цвета.

**б)** Начнем с тех цветов, которые Демокрит называет основными.

Leucos мы переводим "белый". Это, однако, очень условный перевод. Как мы знаем уже из Гомера, под этим словом греки часто понимали вообще все "светлое", "ясное", "прозрачное" и даже просто нечто спокойное, здоровое, отчетливое, приятное. Точно так же melas совсем не обязательно "черный". Это – любые оттенки темноты, какая угодно затемненность. В этих условиях становится гораздо понятнее та характеристика "белого" цвета, которую дал Демокрит в начале приведенного текста. "Белое" для грека всегда связано с ощущением ясности, светлости, гладкости, а "черное" – с ощущением затемненности, неровности, шероховатости, корявости. "Белое" и "черное" у греков и у Демокрита не имеют значения сами по себе. Эти "цвета" берутся во всей их вещевой неопределенности и разнообразии, а кроме того, с отражением всяких взаимосвязей, наличных в "белых" вещах. Отсюда этот "блеск", говорящий не столько о цвете предмета, сколько о действии этого цвета на другие предметы (в частности, на человеческий глаз). Отсюда эта "прозрачность", говорящая опять-таки не столько о цвете предмета, сколько об известном рода цветовом или световом взаимоотношении данного предмета с другими. Теофраст напрасно возражает Демокриту, что он путает белое с блестящим и прозрачным. Может быть, в эпоху Теофраста это различие сознавалось более четко. Но по существу это различие проводилось в античности очень слабо, почти, можно сказать, не проводилось, ни Демокритом, ни Платоном, ни самим Теофрастом, ни псевдо-Аристотелем. "Белое" и обязательно с "блеском" Демокрит видит в "золотистом" и "медном". "Блеск" для Демокрита даже нечто "божественное".

Его он находит и в "зеленом" и в "темно-синем", и в "пурпуровом", и даже в "черном".

Заметим, кроме того, что при обсуждении существа "белого" цвета Демокрит придает большое значение твердости и мягкости "белых" предметов. Белые твердые предметы имеют у него одни атомы, в белых же мягких – другие атомы. Это тоже прекрасный образец вещевого понимания самого феномена цвета, как и то, что в описании существа "черного" цвета он подчеркивает роль толщи воздуха, через которую этот цвет проходит. Казалось бы, о "светлоте" и "черноте" можно было бы говорить как о таковых. Но для Демокрита это невозможно.

в) Chloron, который мы перевели как "желто-зеленый", есть, в сущности, также целая группа цветов. Под ним греки понимали цвет созревающей нивы, когда она из зеленой становится желтой. У Гомера этот цвет приписывается меду. Это цвет свежей молодой растительности, бледновато-зеленоватый цвет листьев и травы, еще не дошедших до полной зрелости. Сюда же относится и настоящий зеленый потому, что, когда говорилось, что этого цвета гиматий, то тут уже едва ли имелся в виду какой-нибудь бледно-желтый, тут он – "зеленый". В области зеленого цвета можно, впрочем, указать целых три степени зелени, зафиксированные у греков терминами chloros, poiodes (или poodes) и prasinos.

В описании "желто-зеленого" цвета Демокрит рассуждает очень отвлеченно: он видит в нем совмещение двух своих самых общих натурфилософских начал, плотного и пустого, чем вызывает справедливые упреки Теофраста. Теофраст считает нелепостью не давать особой "формы"

зеленому цвету, так как два основных начала, указываемые Демокритом, общие решительно для всех цветов. Что же касается *prasinos*, что мы перевели выше как "зеленый", то Демокрит в отличие от "желто-зеленого" считает его сложным цветом, составляя из "пурпурового" и "лазоревого" или из "желто-зеленого" и "пурпурового". Это мало понятное для нас соединение становится более вразумительным, если в так называемом пурпурном мы подчеркнем оранжевость.

г) Но в смысле указанной неопределенности и связанности с физическим взаимоотношением тел, пожалуй, интереснее всего *porphyrus*, то, что мы переводим как "пурпурный".

Что в пурпуре есть "красное", это ясно. Но Демокрит говорит, что в пурпуре есть еще и "белое" и "черное", причем "белое" для него свидетельствуется "блеском", который он тоже находит в пурпуре. Что тут есть "черное", т.е. темное, это мы находим и у других писателей. Пурпур действительно содержит в себе тенденцию к потемнению. Что же касается белого, или "блеска", то этим словом Демокрит, по-видимому, и хотел отметить наличие в античном пурпуре некоего движения или игры. Выражено это конечно, беспомощно. Но самая тенденция эта у Демокрита вполне осмысленна. Как показывает анализ цветов у Гомера, пурпурный цвет близок к нашему перламутру.

д) Важно, далее, понимать, что такое *suaneos*, или *suaneos* (*suaneoides*), "темно-синий". Мы едва ли сможем представить себе этот цвет во всем его античном своеобразии, если не примем во внимание наличных здесь телесных и вещественных интуиций. Именно, греки исходили здесь

из представления засиненной стали или железа. Трудно сказать, что это за цвет – светлый, темный, голубой, синий или черный. Все эти оттенки здесь налицо. "Темно-синие" бляхи мы находили на щите Агамемнона, "темно-синий" Посейдон у Гомера, а у Еврипида "темно-синие" кони Посейдона, на которых он разъезжает по морю. И то, что черные волосы южан представлялись Гомеру "темно-синими", свидетельствует об остроте его зрения. Кто занимается живописью, тот знает, как трудно дать чисто черный цвет. Рисуя, например, черные волосы южан, мы должны к самой черной китайской туши прибавлять немного именно темно-голубого, чтобы более светлые места, которые должны содержать блеск, не вышли коричневатыми и чтобы вся краска не стала темно-коричневой.

Понятно отсюда и то, почему у Гомера мы находим и прямое отождествление "темно-синего" с "черным". Может быть, лучше всего дают представление об этом цвете жуки, отличающиеся черным цветом самых разнообразных оттенков, но по преимуществу голубоватых и синеватых (может быть, и красноватых). "Темно-синие" облака, морской ил, змеи на щите Геракла, море при Ноте. Последний текст, впрочем, стоит привести полностью: "Почему при дуновении Нота море становится темно-синим, а при Борее – мрачным (dzophodes). Потому, что Борей волнует море меньше; а, будучи все в беспорядочном волнении, оно кажется черным" [1].

О темно-синем у Демокрита рассказываются диковинные вещи. Он состоит у него из лазоревого и огневидного. Это еще представимо (причем сочетание лазоревого и огненного указывает, насколько можно тут представить, на



некоторую лиловость указанного "темно-синего"). Но дальше Демокрит мыслит свой "темно-синий" цвет состоящим из атомов круглых и "похожих" на иголку, "чтобы черному [тут] было присуще сияние".

Это рассуждение заставляет прямо развести руками. Что это значит? Не может же того быть, чтобы это ровно ничего не значило. Прежде всего, откуда тут "черное"? Это, вероятно, не "черное", а опять-таки некое "темное". Затем это "черное", или "темное", появляется здесь, может быть, из "лазоревого", которое, по Демокриту, "состоит" "из сильно-черного и желто-зеленого". "Темное" в демокритовом "темно-синем" должно издавать "сияние". Может быть, тут имеется в виду "черное", или "темное", с некоторым отливом наподобие окраски некоторых жуков. Тогда "огневидность" указывает, может быть, просто на "блеск", "сияние". Все это допустимо.

Но зачем понадобились тут "иголки"? Ответить на этот вопрос затруднительно, потому что мы, вероятно, не знаем какой-то существенной греческой интуиции. Может быть, здесь просто имеется в виду общее атомистическое учение об огне, состоящем из тонких атомов. Нам известно, что, например, "пирамидальность" огня Демокрит объясняет тем, что края пламени охлаждаются, само оно сжимается и конец его заостряется. Далее, огонь и вообще состоит, по Демокриту, "из тонких частей", "из более острых, более тонких и занимающих более сходственное положение первотелец", чем и объясняется "блеск" и "светлость". Если так, то вопрос об игольчатости темно-синего разрешался бы просто. Но так ли это, решить трудно. Во всяком слу-

чае, ясно, что тут какая-то вполне определенная осязаемо-телесная аналогия.

**е)** Наконец, только при помощи чисто телесного аналогизирования можно было бы понять то, что Демокрит называет "ореховым" цветом. Если этот "ореховый цвет" состоит из "желто-зеленого" и чего-то вроде "темно-синего", то здесь, по-видимому, имеется в виду орех еще на ветке, т.е. коричневато-зеленоватого цвета. С прибавлением к нему "желто-зеленого" и "белого" Демокрит получает цвет пламени, т.е., мы бы сказали, желтовато-блестящий. Телесные аналогии тут – основа всего.

**ж)** Из того же самого телесного, вещевого и осязательного абсолютизма вытекает у Демокрита (и вообще в античном цветоведении) еще одна фундаментальная особенность, без учета которой невозможно разобраться в этом хаосе и произволе случайных аналогий.

Дело в том, что мы в настоящее время четко различаем в цвете его существенное качество и его внешнюю освещенность. О цвете в его существенном качестве тоже можно сказать, насколько он светлее или темнее. Синий светлее фиолетового, голубой светлее синего, зеленый светлее голубого, желтый светлее зеленого. По светлоте цвета можно было бы распределить так: желтый, теплый зеленый, зеленый, оранжевый, холодный зеленый, голубой, красный, синий, фиолетовый. Но это не тот "свет", который может освещать уже готовый цвет, цвет как бы извне. Можно взять любой цвет и путем такого внешнего примешивания светлоты или темноты превратить его в самый настоящий белый или самый настоящий черный цвет. Первая, так сказать, внутренняя светлота конструирует самый

цвет. Можно взять чистый, ахроматический световой луч, пропустить его через ту или иную темную, но прозрачную среду, и мы получим все хроматические цвета в зависимости от того направления, в котором мы будем наблюдать прохождение этого луча. Так, наблюдая его со стороны данной среды, когда он как бы идет на нас, мы получаем красный цвет; наблюдая его в направлении его распространения по данной среде, мы видим его голубым; равновесие обоих направлений создает зеленый цвет и т.д. Все это – судьба света внутри самого цвета. И совсем другое – внешняя освещенность цвета, которая предполагает, что цвет уже сформирован и существует как таковой. Вот этих двух методов конструирования цвета античность и не различает. И это очень понятно. Ведь такое различие предполагает непосредственное всматривание в цвета как в таковые, независимо ни от каких вещественных аналогий. Но античный человек, и в частности Демокрит, не столько всматривается в цвета, сколько осязает их руками. А для осязания совершенно безразлично, внутренняя или внешняя структура цвета имеется в виду. Для осязания вообще нет ничего внутреннего или, вернее, нет самой антитезы внутреннего и внешнего. Поэтому, когда античные цветоведы (Платон, псевдо-Аристотель) говорят, что такой-то цвет "состоит" из таких-то, – они не различают, идет ли речь о внутреннем (и существенном) "составлении" или о внешнем (о внешней освещенности).

з) Так, например, "золотистый" цвет Демокрит "составляет" из белого и красного. Ясно, что "белое" в данном случае есть не что иное, как внешний придаток, а не внутренний принцип золотистости. Сам Демокрит подчеркива-

ет здесь, что "белое" нужно ему тут для "блеска". Значит, существенна для золотистого цвета именно краснота, и больше ничего. "Белое" же здесь внешне освещает и создает блеск уже готового красного цвета. Наоборот, когда говорится, что "лазоревый" цвет "состоит" из сильно-черного и желто-зеленого, то участие темноты здесь едва ли чисто внешне. Как бы мы ни затемняли освещение желто-зеленого пятна, оно никогда не станет лазоревым. Другое дело, если мы будем убавлять внутреннюю светлоту желто-зеленого. Убавление светлоты в этом смысле, прежде всего, приведет к уничтожению желтизны, и весь цвет станет от этого гораздо зеленее. А затем мы можем так или иначе поступать и с зеленым, вводя в него то или иное направление светового луча и ту или иную его интенсивность. Получение этим путем лазоревое из зеленого, во всяком случае, мыслимо, стоит только отказаться от равновесия света и тьмы в зеленом и начать фиксировать световой луч в направлении его распространения по темному пространству. Мы тут получим бесконечное количество голубых и синих тонов, среди которых (может быть, с известными примесями) найдем и лазоревое. Но ясно, что функции светового луча здесь чисто внутренние. Тут очень сложная внутренняя диалектическая игра света и темноты, когда данный цвет впервые только еще возникает.

Для того, чтобы завершить этот краткий обзор философских представлений о цвете, мы в заключение обратимся к Аристотелю [1]. Он отвергает теорию зрения Платона, а также и Демокрита. Первостепенным условием видения, по его мнению, является наличие активированной прозрачной среды, под которой он подразумевает, напри-

мер, воздух при свете дня. Цвет приводит эту среду в движение, и это движение мгновенно достигает глаз. Аристотель говорит, что свет — это «цвет прозрачности» [2], то есть прозрачной среды; подобным же образом цвета определенных предметов являются результатом наличия в их телах «прозрачного». «Отсюда, — говорит Аристотель, — ясно, что в том (воздухе, воде и предметах), что обладает цветом, это сходно. Поэтому именно прозрачное, соответственно той степени, в какой оно содержится в предметах (а в той или иной степени оно содержится во всем), является причиной того, что они имеют цвет. Но так как цвет располагается у поверхности предмета, то он должен находиться и у поверхности прозрачного, содержащегося в предмете. Из этого следует, что мы можем определить цвет как предел прозрачного в определенно ограниченном теле... То, что, присутствуя в воздухе, вызывает свет, может присутствовать и в прозрачном, которое наполняет ограниченные тела; или опять же, оно может и не присутствовать, и тогда будет наблюдаться отсутствие света. Следовательно, как в случае воздуха, одним состоянием которого является свет, а другим — темнота, таким же образом черное и белое зарождаются в обусловленных предметах»[3]. Другие цвета, как утверждается здесь, образуются смешиванием этих двух. Здесь же дается перечень, содержащий семь видов цветов[4]: белый, черный, хантрон (золотисто-желтый), малиновый, пурпурный (то есть «морской пурпур»), травянисто-зеленый и κιαουιν («индиго» и «глубоко-синий», согласно Глэдстонау). Серый, по видимому, в конечном счете начинает рассматриваться как оттенок черного. Остальные цвета (а Аристотель говорит,

что их количество ограничено) образуются смешением перечисленных. Эти семь принимаются как единственные действительно определенные цвета. Здесь, вероятно, впервые мы встречаем перечень цветов, который в некоторой мере напоминает наш собственный. Но выбор их названий кажется странным: почему, например, для желтого — «золотисто-желтый», а для красного — «малиновый»?

Первостепенность белого и черного и явная связь этих двух со светом и темнотой предполагает близкое сходство между рассуждениями Аристотеля и Платона. Но это сходство, обманчиво. Весь диапазон цветов объясняется лишь двумя факторами: прозрачностью или непрозрачностью предмета и «тем, что вызывает в воздухе свет», что активизирует прозрачность предмета. Этот таинственный фактор, вероятно, является «цветом того, что можно было бы назвать источником света, который косвенно становится цветом среды, передающей его в псевдоаристотельском трактате о цветах («De coloribus») ясно говорится, что свет — это цвет огня). Сложность рассуждений Аристотеля является результатом его неопределенности в отношении физической природы света: для него он не предполагает ни телесности, ни движения. Термин «свет» применяется к активированному состоянию среды, состоянию, в котором она «действительно», а не «потенциально» является прозрачной. Следовательно, взаимодействие солнца или огня (или их «цвета» — света) и прозрачности в предметах образует цвет. Присутствие света в прозрачном предмете образует белый; его отсутствие, предположительно, в случае непрозрачности тела, образует черный; различные степени прозрачности или непрозрачности образуют остальные

цвета (как именно это происходит Аристотель не пишет). Таким же образом объясняются и цветовые явления в атмосфере: например, три цвета, которые он приписывает радуге, — малиновый, травянисто-зеленый и пурпурный — объясняются как последовательное ослабление света. Так как свое мнение о цвете он строит на основании анализа причин света и темноты, то можно допустить, что его рассуждения строятся на наблюдениях и размышлениях о метеорологических явлениях, а не наоборот. Таким образом, причины, по которым Аристотель выбрал как основные цвета черный и белый, отличались от таковых Платона. Основными цветами для Платона были те, которые соответствовали его общей теории зрения; но эта теория частично была основана на общепринятых у греков представлениях относительно видимого мира, согласно которым «различия в тональности и яркости» играли намного большую роль, чем различия оттенков. Во взглядах Аристотеля не видно такой логической связи с общепринятыми положениями. Его точка зрения отличается попыткой дать независимый анализ наблюдаемого явления. Но различие между этими двумя мнениями идет еще глубже. Понятие яркости и темноты, столь важные для «примитивной» греческой позиции и настолько явные у Платона, у Аристотеля отсутствуют. Уподобление Янусу сущности передающих цвет терминов, заметное у Гомера, Демокрита и Платона, у него почти не встречается. Все термины, включая обозначающие черное и белое, представляются относящимися непосредственно к цвету.

Аристотель считает свой ряд из семи цветов рядом основных цветов, данных природой. Он полагает, что пять промежуточных цветов являются результатом смешения черного и белого «в определенных количественных соотношениях», подобно основным музыкальным интервалам. К тому же, три из них (цвета радуги) повторяются с таким постоянством, которое нельзя встретить, например, в меняющихся оттенках растений и животных; в другом месте он добавляет, что этих три цвета являются почти единственными, которые нельзя воспроизвести на палитре художника, таким образом, снова намекая, что они тем или иным образом являются основными и первичными. Если теория Аристотеля основана на наблюдениях за атмосферными явлениями, то, возможно, мы должны предположить, что сходные мотивы послужили и для выбора двух других промежуточных цветов — «золотисто-желтого» и «глубокого синего»: в трактате о цветах говорится, что золотисто-желтый — это цвет солнца, он также «часто» является цветом радуги, образующимся по контрасту, в результате наложения малинового и травянисто-зеленого, в то время как глубоко-синий, например, является цветом морских глубин. (Довольно интересно, что термин «глубоко-синий» или, скорее, родственный с ним с буквальным значением «подобный kuanos» в трактате о цветах употребляется по отношению к небу; «воздух, находящийся рядом, кажется лишенным цвета, потому что он настолько разрежен, что уступает и пропускает более плотные лучи света, который, таким образом, светится сквозь него; но когда он виден во всей своей массе, то выглядит практически темно-синим (или глубоко-синим; буквально «выглядит как имеющий



цвет *kuanos*»). «Это снова является результатом его разреженности, так как там, где слабеет свет, воздух уступает темноте». Сам термин *kuanous* у Аристотеля обычно означает синий, граничащий с черным, но фрагмент из трактата о цветах позволяет предполагать, что в перечне, представленном в трактате о чувствах («*De sensu*»), он означает не просто темно-синий, а еще и небесно-голубой. Итак, основу перечня Аристотеля составляют конкретные цвета, наблюдаемые в природе, а не какая-то система абстрактных терминов. Впрочем мы, конечно же, ожидали найти такую систему именно в этом контексте рассуждений о видах цвета.

Таким образом, свидетельства Аристотеля указывают на две вещи: больший интерес в отношении цвета как такового, по сравнению с «модальностями и формами света» Гомера, и продолжающаяся зависимость описания цвета от обращения к каким-то конкретным имеющим цвет предметам. В то же самое время здесь снова можно видеть некоторые признаки прогресса по направлению к абстрактности словаря терминов для передачи цвета: в дополнение к уже существующим обозначениям белого, черного и красного здесь, по-видимому, появляется и общее слово для выражения желтого (*ochros* Платона, употребляемое Аристотелем по отношению к желтку яйца); и, *kuanous* Аристотеля может быть попыткой выражения категории синего. В этом случае расширение значения ослабило бы первоначальную связь с *kuanos*. Также является спорным, что слово *prasinos*, «травянисто-зеленый», употребляемое Демокритом, Платоном, а также Аристотелем, может уже использоваться как общее обозначение для выражения зеле-

ного, как это, без сомнения, видно в более поздней Греции. Но даже если это так, то все еще остается в значительной мере спорным вопрос о том, как широко эти термины могли употребляться таким же образом в обыденном языке.

Неразличение внутренне конститутивной и внешнеатрибутивной стороны в цветах – фундаментальная особенность античного цветоведения, вытекающая из принципиального его существа.

Вы когданибудь задумывались над тем, какого цвета статуи античных богов и героев? Конечно, белые, как мрамор, из которого они и сделаны. Поэтому Афина, Парис и Аполлон известны нам в первую очередь как каменные изваяния, излучавшие благодаря своей белизне внутреннее спокойствие и величие.

Но на самом деле этот вопрос гораздо сложнее, чем может показаться на первый взгляд.

Еще в конце 2003- начале 2004 г. в мюнхенской Глиптотеке прошла выставка «Bunte Götter» [5], что означает «Пестрые боги». В 2006 году выставка побывала в Турции, в Стамбульском археологическом музее, в 2007 – в Ватиканских музеях и т.д. Победное шествие выставки по Европе продолжилось и в 2009 г.

Выставка «Пестрые боги», полностью переворачивает эти представления об античности. Боги были не белыми, а самыми что ни на есть пестрыми! С помощью современных методов анализа удалось реконструировать остатки краски на скульптурах, и теперь на выставке тридцати белым оригиналам противопоставлены их цветные копии.

**В античности яркая раскраска считалась знаком особой ценности.** Однако это буйство красок противоре-

чит современному пониманию эстетики, ориентированному на ясность. Сегодня цветные скульптуры кажутся нам, скорее, чем-то странным, поэтому выставка, конечно, производит впечатление.

Экспозиция обязана своим возникновением работе международного научно-исследовательского коллектива под руководством Винценца Бринкманна, заведующего античным собранием франкфуртского Либигхауза. На протяжении 25 лет коллектив исследовал красящие пигменты на поверхности античных статуй, что позволило исследователям реконструировать их первоначальный внешний вид.

Так стало наглядным то, что давно уже было известно из древних письменных свидетельств. Боги и герои носили одежды, расписанные дорогими красками и декорированные орнаментами.

Ниже приведены некоторые фотографии. Решите, какой вариант античности вам ближе и привычней: выцветший белый или вот такой открытый и нарядный? Можно только поражаться, какими жизнерадостными и открытыми людьми были Древние Римляне, если они ТАК раскрашивали свои интерьеры.

Данная книга не ставит целью описание взглядов античных мыслителей на природу цвета. Здесь показано, насколько эти взгляды примитивны и наивны. Поэтому перейдем к современным взглядам на цвет, начиная с опытом Исаака Ньютона.

## 1.2. Современное представление о цвете

В 1666 году Ньютон (1642 – 1727 г.г.) произвел в Кембридже опыт разложения белого цвета призмой – опыт, который познакомил нас с истинной природой цвета [6]. Через маленькое круглое отверстие в ставне окна в затемненную комнату проникал луч света, и на его пути Ньютон оставил стеклянную трехгранную призму. Пучок света преломлялся в призме. На экране, стоявшем за призмой, появлялась разноцветная полоса, которую Ньютон назвал «спектром» (от греческого «спектрум» - смотрю).

На рис. 1.1. показана схема опыта Ньютона.

Со времен Ньютона принято различать в спектре семь основных цветов: **красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый.**

Конечно, разделение спектра именно на семь цветовых зон чисто условно. В действительности, глаз различает в спектре громадное количество промежуточных оттенков, поскольку последовательность цветов спектра непрерывна, и каждый цвет переходит в соседний плавно и постепенно.

Описанное наблюдение Ньютона показывает, что **лучи разного цвета по-разному преломляются призмой.** Это важное заключение Ньютон проверил многими опытами. Важнейший из них состоял в определении показателя преломления лучей различного цвета, выделенных из спектра. Для этой цели в экране, на котором получается спектр, прорезалось отверстие, перемещая экран. Можно было выпустить через отверстие узкий пучок лучей того или иного цвета. Опыты обнаружили, что такой выделенный пучок, преломляясь во второй призме, уже не растяги-

вается в полосу. Такому пучку соответствует определенный показатель преломления, значение которого зависит от цвета выделенного пучка. Зависимость показателя преломления от цвета получила название «дисперсия цвета» (от лат. *dispergo* – разбрасываю).

Ньютон установил также, что можно наоборот, смешав семь цветов спектра, вновь получить белый цвет. Для этого он поместил на пути разложенного призмой цветного пучка (спектра) двояковыпуклую линзу, которая снова налагает различные цвета один на другой; сходясь, они образуют на экране белое пятно. Если же поместить перед линзой (на пути цветных лучей) узкую непрозрачную полосу, чтобы задержать какую-либо часть спектра, то пятно на экране станет цветным.

Описанные опыты показывают, что для узкого цветного пучка, выделенного из спектра, показатель преломления имеет вполне определенное значение, тогда как преломление белого света можно только очень грубо охарактеризовать одним каким-то значением. Сопоставляя подобные наблюдения, Ньютон сделал вывод, что существуют **простые** цвета, не различающиеся при прохождении через призму, и **сложные**, представляющие собой совокупность простых, имеющих разные показатели преломления. В частности, белый солнечный свет есть такая совокупность цветов, которая при помощи призмы разлагается на спектральные (простые). Таким образом, в основных опытах Ньютона заключались два важных открытия:

- 1) свет различного цвета (длина волны) характеризуется разными показателями преломления в данном веществе (дисперсия);

2) белый цвет есть совокупность простых цветов.

В чем же состоит основное различие между цветами спектра? Ньютон утверждал, что различные цвета состоят из частиц разного размера: красные лучи – из самых больших частиц, фиолетовые – из самых маленьких. С другой стороны Томас Юнг предполагал, что цвета соответствуют волнам различной длины, при чем в красных лучах волны самые длинные, в фиолетовых – самые короткие. Эти два объяснения представляются настолько важными, что необходимо несколько более подробно остановиться на них. В науке мы объясняем явления посредством аналогий с другими явлениями. Мы можем, поэтому, представлять себе луч света, как поток частиц, выбрасываемых источником света. Подобно пулям, выбрасываемым пулеметом. Эти частицы чрезвычайно малы, так что они могут долгое время испускаться источником света, не вызывая в нем сколько-нибудь заметной потери веса. Они распространяются по прямым линиям, что очень просто и естественно объясняет прямолинейность лучей света. Частицы отражаются зеркалом подобно тому, как резиновый мяч отскакивает от пола и бильярдный шар от борта. Когда частицы ударяют в сетчатку глаза, они вызывают ощущение света. **Этот способ объяснения световых явлений называется теорией истечения (или корпускулярной теорией).** Ньютон в первой части своей «Оптики» говорит: «В этой книге я не намереваюсь объяснять свойства света гипотезами, но предполагаю только устанавливать их и проверять рассуждением и опытом». В соответствии с этим намерением Ньютон очень осторожен в своих утверждения свободных насколько это возможно, от гипотез. Он постоянно употребляет

30

слово «луч», мысленно представляя его себе как поток частиц, причем стекло призмы притягивает частицы луча, падающего на него, и это притяжение является причиной отклонения луча от первоначального направления; маленькие частицы притягиваются сильнее больших и испытывают следовательно, большее отклонение, что и является причиной образования спектра. Принимая теорию истечения, Ньютон высказывал сомнения в ее верности. Он спрашивает сам себя: «Не производят ли различные лучи колебания различной частоты, которые, сообразно их частоте, вызывают ощущения различных цветов, подобно тому, как колебания воздуха вызывают ощущения различных звуков, соответствующих их частоте?» Ньютон в этом вопросе не становится на точку зрения чистой волновой теории, но предполагает компромисс – соединение теории истечения и волновой: «Световые корпускулы, ударяясь о вещество, вызывают в нем волны».

Немного великих открытий пользовались таким почетом и были оценены их современниками в такой степени, как открытия Ньютона. Когда в 1727 году в возрасте 84 лет он скончался – он с величайшими почестями был похоронен в Вестминстерском аббатстве. В течение последних 20 лет его жизни в огромном кругу учеников и почитателей он считался непогрешимым авторитетом, и его воззрения на свет получили чрезвычайно широкое распространение.

На рубеже 19 века Томас Юнг установил принцип **интерференции** света, согласно которому можно, сложив свет со светом, получить темноту, то есть взаимно погасить свет. Юнг исследовал различные приложения принципа интерференции и пришел к заключению, что свет

должен распространяться волновым движением. Объяснить полосы интерференции с точки зрения истечения оказалось совершенно невозможным. Он вычислил также среднюю длину волны света различных цветов. Его результаты даны в таблице 1.1.. Они представляют интерес, как первые определения длины световых волн, которые когда-либо были сделаны. Следует отметить, что его цифры вполне пригодны и для современного употребления.

Таблица 1.1. Цвет и его длина волны

<b>Цвет</b>	<b>Длина волны в см.</b>
Граница видимого спектра	0,0000676
<b>Красный</b>	0,0000650
<b>Оранжевый</b>	0,0000609
<b>Желтый</b>	0,0000576
<b>Зеленый</b>	0,0000536
<b>Голубой</b>	0,0000498
<b>Синий</b>	0,0000460
<b>Фиолетовый</b>	0,0000442
Граница невидимого спектра	0,0000424

Весь спектр можно разделить по цветовым оттенкам на две части. В одну часть входят красные, оранжевые, желтые и желто-зеленые цвета, а в другую – фиолетовые, синие, голубые и зеленые цвета. Цвета первой части спектра связываются у нас с представлением о цвете накаливаемых тел -



огня, поэтому их называют теплыми цветами. Цвета второй части спектра связываются у нас с цветом воды, льда, металла и называются холодными цветами.

Чем же определяется цвет окружающих нас предметов? Какой физический смысл соответствует нашим представлениям о том, что трава зеленая, цветок мака красный, а небо голубое и т.д.? Цвет предметов, окружающих нас, зависит, во-первых, от их способности отражать или пропускать падающий на них световой поток и, во-вторых, от распределения светового потока в спектре освещающего их источника света. Когда мы говорим, что поверхность имеет зеленый цвет (при освещении белым светом), то это означает, что из всей совокупности лучей, составляющих белый свет, данная поверхность отражает преимущественно зеленые лучи. Прозрачная среда (стекло, жидкость), представляющаяся нам окрашенной в зеленый цвет (при освещении белым светом), пропускает из всей совокупности лучей преимущественно зеленые лучи. Соответственно, отраженные или пропущенные лучи воздействуют на наши глаза и у нас создается ощущение зеленого цвета. Всем известно, что окраска комнаты и находящихся в ней предметов воспринимается нами по-разному при дневном (естественном) и вечернем (искусственном) освещении, осуществляемом лампами накаливания. Причины этого – различное распределение светового потока в спектрах дневного света и лампы накаливания, наличие в спектре дневного света всех видимых излучений почти в равном количестве и почти полное отсутствие синих и фиолетовых лучей в спектре лампы накаливания. При освещении лампами накаливания красные цвета становятся более сочны-

ми, а оранжевые краснеют. При этом и красные, и оранжевые цвета становятся более светлыми. Голубые цвета зеленеют, а синие и фиолетовые несколько краснеют, приобретая при этом пурпурный оттенок, а значит – темнеют.

Все цвета, встречающиеся в природе, разделяются на **ахроматические** и **хроматические**. К ахроматическим цветам относятся белый и черный цвета, а также серый цвет, являющийся промежуточным между белым и черным цветами. Ахроматические цвета в спектре отсутствуют – они бесцветны. Хроматическими цветами являются все цвета, имеющие тот или иной цветовой оттенок. Прибавляя к спектральному свету все большее количество белого света, мы получаем множество цветов одного тона, но различных по степени разбавления их белым светом.

Длина волны спектрального цвета, который при разбавлении белым светом дает данный цвет, носит наименование **цветового тона**, или **доминирующей длины волны**. Цветовой тон обозначается греческой буквой  $\lambda_d$  (лямбда) с индексом и выражается в нанометрах.

Количество цветов одного и того же тона безгранично, поскольку безгранична возможность прибавления разного количества белого света к данному спектральному цвету. Из сказанного следует, что один цветовой тон не характеризует полностью цвета. Надо учесть степень его разбавления, то есть степень его белесости по отношению к спектральному цвету. В спектральных цветах нет примеси белого, они являются самыми чистыми цветами. Параметр цвета, который учитывает степень разбавления спектрального цвета белым, называют **чистотой цвета** и обозначают буквой **p**. Чистота цвета выражается в долях еди-

ницы или процентах. Спектральные цвета имеют чистоту цвета, равную 100%. Все ахроматические цвета имеют чистоту цвета, равную нулю.

Цветовой тон  $\lambda_d$  и чистота цвета  $\rho$  характеризуют качество цвета. Совокупность цветового тона и чистоты цвета, то есть качественный параметр цвета, носит название **цветности**. Но и цветность не характеризует цвет полностью. Для оценки цвета необходимо указывать кроме цветности и его яркость (**B**). То есть количественный его параметр, так как розовый цвет, например, при малых яркостях будет нам казаться цветом бордо, желтый – коричневым, а голубой – синим. Два цвета тождественны, если они имеют одинаковую цветность и одинаковую яркость.

Из множества цветов одинакового цветового тона наш глаз может отличить друг от друга лишь ограниченное их число. Для спектральных цветов разного цветового тона это число составляет от четырех (желтый цвет) до двадцати пяти (красный цвет). Наименьшее воспринимаемое глазом различие в цвете носит название **порога цветоразличения**. Число таких порогов характеризует насыщенность различных цветов. Чем больше порогов цветоразличения имеет место для данного цвета от белого до спектрального, тем более насыщенным является данный цвет. Наиболее насыщенными являются красный и синий цвета. Наименее насыщенным – желтый цвет. Таким образом, не следует отождествлять насыщенность и чистоту цвета, являющихся различными понятиями.

Спектральные цвета являются самыми чистыми цветами, которые нам приходится наблюдать, так как в них отсутствует примесь белого цвета. Однако они не исчер-

пывают существующего в природе разнообразия цветов. В спектре нет белых, черных и серых цветов, кроме того, в спектре отсутствуют малиновый, вишневый, сиреневый и другие подобные цвета, называемые пурпурными. Полный набор, встречающихся в природе цветов, может быть получен при смешении спектральных цветов между собой в различной пропорции, а также смешением спектральных цветов с ахроматическими (белым и серым).

**Под смешиванием цветов понимают явление образования новых цветов путем составления из двух или нескольких других цветов.** Многочисленными опытами установлено, что некоторые пары хроматических цветов, смешанные в определенной пропорции, образуют ахроматический цвет. Два цвета, образующие при смешивании ахроматический цвет, называют дополнительными. В природе существует бесчисленное количество пар дополнительных цветов, в том числе и спектральных. В таблице 1.1 ориентировочно указаны названия взаимно дополнительных цветов.

Гениальный русский ученый М.В. Ломоносов в 1856 году впервые высказал мысль о том, что в нашем глазу есть три рода светочувствительных элементов, которые по-разному реагируют на свет разного спектрального состава. Первые - чувствительны преимущественно к красному, вторые – преимущественно к зеленому, и третьи – к синему цветам. Если же в глаз попадает сложный световой поток, состоящий из ряда составляющих световых потоков разного цвета, то на него реагируют все три рода светочувствительных элементов. В зависимости от соотношения их реакции мы ощущаем результирующий цвет, соответст-

вующий спектральному составу света, попадающему в глаз.

Таблица 1.2. Названия взаимно дополнительных цветов

<b>Первый из дополнительных цветов</b>	<b>Второй из дополнительных цветов</b>
<b>Красный</b>	<b>Голубой</b>
<b>Оранжевый</b>	<b>Голубой</b>
<b>Желтый</b>	<b>Синий или голубой</b>
<b>Желто-зеленый</b>	<b>Пурпурный</b>
<b>Зеленый</b>	<b>Пурпурный</b>
<b>Голубой</b>	<b>Красный или пурпурный</b>
<b>Синий</b>	<b>Желтый</b>
<b>Фиолетовый</b>	<b>Желто-зеленый</b>

Эта трехцветная теория цветового зрения, которая после М.В. Ломоносова была значительно развита Юнгом и Гельмгольцем, полностью подтвердилась фактами оптического смешения цветов. В самом деле, все возможные цвета могут быть получены смешением в разных пропорциях трех взаимно независимых цветов – красного (700 нм), зеленого (546,1 нм) и синего (435,8 нм). Однако глаз человека не способен анализировать состав цвета, то есть определять без приборов из каких частей этот свет состоит.

Огромное разнообразие цветов и оттенков, воспринимаемых зрением, в нашу эпоху развитой техники и разветвленной науки порождает необходимость точной номенклатуры цвета. Это значит, что всякий цвет мы должны

уметь точно назвать и обозначить, и притом так, чтобы наше обозначение выражало его весьма детально, позволяя уверенно различать самые тонкие нюансы оттенков одного и того же цвета. Такая задача разрешается в специальном разделе экспериментальной оптики, называемом **колориметрией** – термин составлен из латинского корня «колор» (цвет) и греческого «метрон» (мера). Таким образом, колориметрия представляет собой искусство измерения цвета, позволяющее любой цвет выразить в виде некоторого числа или, вернее, комбинации чисел. Трехцветная колориметрическая система может быть представлена графически в виде так называемого цветового треугольника.

Основные цвета помещаются в вершинах треугольника. Цвет, получаемый при смешивании двух цветов в равных количествах, изображается равностоящей от них точкой. Дополнительные цвета – маджента, желтый и голубой (суан) – лежат в середине сторон треугольника. Белый, который получается при сложении зеленого, синего и красного в равных количествах, изображается точкой, лежащей в центре треугольника на равном расстоянии от его углов. Спектральные цвета (красный, оранжевый, желтый, желтовато-зеленый, зеленый, голубой, синий) лежат вдоль первой и затем вдоль второй стороны треугольника. Цвета, лежащие вдоль его основания, по порядку следующие: красный, розовый, гвоздичный, маджента, пурпурный, синий. Насыщенные цвета лежат вдоль сторон треугольника, а цвета бледные – внутри, вокруг белого. Так, например, если мы будем двигаться вдоль медианы из красного угла, красный будет становиться все бледнее до тех пор, пока не перейдет в белый. Белый, при дальнейшем движении, при-

38

обретает легкий голубой оттенок, который будет становиться все более насыщенным, пока мы полностью не перейдем в синий угол. Этот треугольник, идея построения которого также принадлежит Ньютону, может служить для установления приблизительного соотношения между цветами. Поскольку в спектре белого цвета отсутствуют пурпурные цвета, то и в этом треугольнике для них нет места. Для того чтобы все реально существующие цвета, в том числе пурпурные (малиновый, вишневый, сиреневый и т.п.) лежали внутри цветового треугольника, его математически перестраивают в так называемую «цветовую диаграмму» в удобных для использования прямоугольных координатах (цветовой locus) (рис. 1.3).

Преимущество треугольника цветов в том, что он дает возможность точно описывать цвета посредством соответствующих им точек в треугольнике. Способ этот естественно гораздо точнее словесного описания, так как большинство людей плохо умеет передавать словами тонкие оттенки. Он позволяет с одного взгляда определять результат смешения любых двух цветов в какой угодно пропорции.

Надо сказать, что и при жизни и после смерти у Ньютона было много оппонентов, в том числе и такие именитые ученые, как Гюйгенс, Гук, Юнг, Френель. Их работы не опровергли, а, несомненно, обогатили теорию Ньютона, но среди «оппонентов» Ньютона особенно выделяется Иоганн Гете, известный поэт. Его учение «о цветах». Появившееся в 1810 году, то есть через 150 лет после «Оптики» Ньютона, было написано со старой аристотелевской точки зрения, примером которой могут служить воззрения

д-ра Барроу (см. выше). Все бы ничего, но его «учение» проникнуто большим презрением к работам Ньютона по спектру. Находясь под впечатлением, что он разрушил теорию Ньютона, Гете утверждает: «пока существовала ньютоновская теория, было невозможно написать или даже подготовить путь к написанию истории теории цветов; никогда еще аристократическое предубеждение не заставляло смотреть с такой надменной нетерпимостью сверху вниз на лиц, иначе мыслящих, чем это практиковалось в школе Ньютона, и по отношению к тому, что было сделано в оптике в прежние времена или делалось заново».

На самом деле Гете не опроверг Ньютона и не разрушил его теорию. Нам кажется, что именно он, а не Ньютон «с надменной нетерпимостью», «сверху вниз» выразил «аристократическое предубеждение» против объективной реальности, обнаруженной Ньютоном. Ньютон создал теорию, объясняющую свойства световых лучей. Это была удивительная теория, в которой считалось, что свет состоит из частиц, сопровождаемых волнами, и которая объясняла на основе этого предвидения законы распространения света и его действия на вещество. Теперь, 250 лет спустя, наука располагает четкими доказательствами того, что **свет сочетает в себе свойства и волн, и корпускул, это особая совокупность электромагнитных волн и квантов** («волна-пилот» или «волновой пакет» по выражению выдающегося физика, лауреата Нобелевской премии Луи де Бройля).

Однако надо всегда помнить, что Ньютон в своих работах писал: «лучи света не являются цветными. В них нет