

Елаховский Дмитрий Вячеславович,

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики физико-технического факультета ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск

elahovsky@mail.ru



Физические основы цветоведения для студентов строительной специальности университета

Аннотация. Учитывая важную роль цвета при выборе архитектурных решений светового оформления городских ансамблей и отдельных зданий различного назначения, представляется полезным фрагментарное знакомство студентов-строителей с основами цветоведения, а именно с его физическим компонентом. Рассмотрены объективные и субъективные характеристики цвета, обсуждается модель формирования цветовых восприятий, включающая источник света, наблюдаемый объект и нормально функционирующую зрительную систему человека. Перечислены факторы, влияющие на качество цветового образа рассматриваемого предмета, и представлена их физическая интерпретация. Рассмотрены некоторые физиологические аспекты цветного зрения.

Ключевые слова: цвет, объективные параметры цвета, цветное зрение, воздушная перспектива.

Раздел: (01) педагогика; история педагогики и образования; теория и методика обучения и воспитания (по предметным областям).

Проблемами цвета с глубокой древности и до наших дней занимается целый ряд научных дисциплин, каждая из которых изучает цвет с интересующей её стороны. Цвет – это сложное психофизическое явление, поэтому наука о цвете включает в себя физические, физиологические и психологические аспекты. Физика цвета рассматривает оптические явления, возникающие при рассматривании предметов в отраженном или проходящем свете, а также источники светового излучения. Разработка аппаратного обеспечения цветовых измерений и методик получения количественной информации о спектральных и энергетических характеристиках излучения также находится в компетенции физики цветного зрения. Физиология цвета изучает действие излучения различного спектрального состава на органы зрения, причины возникновения светового и цветового ощущений, работу зрительного аппарата. Психология цвета изучает проблемы восприятия цвета и воздействия его на психику, способность вызывать различные эмоции. Базой для изучения цвета, а также контрольным инструментом при его воспроизведении служит метрология цвета, которая устанавливает стандартизованные способы численного выражения и измерения цвета, его классификацию. Совокупность всех перечисленных наук, изучающих цвет, определяет основу науки о цвете, или цветоведение. Исходя из вышесказанного, можно дать такую формулировку понятию «цвет»: качественная субъективная характеристика электромагнитного излучения оптического диапазона, определяемая на основании возникшего физиологического ощущения и зависящая от ряда физических, физиологических и психологических факторов.

Уже давно стало аксиоматичным высказывание, что для архитектора свет и его цветовое выражение – специфический материал, который используется не только в виде подсобного средства и, в отличие от вещественных компонентов строительного

производства, никогда не потеряет своей актуальности. Вышесказанное позволяет говорить об **архитектурном цветоведении** [1], которое охватывает широкий спектр вопросов, тесно связанных с цветовой проблематикой. Временные ограничения не позволяют в рамках курса общей физики в полном объеме осветить весь круг проблем, посвященных вопросам цветоведения, но даже фрагментарное ознакомление студентов-строителей с этой тематикой представляется весьма полезным.

Основные понятия цветоведения

Несмотря на то что цветовосприятие природных явлений и объектов наблюдения напрямую связано с физическими законами генерации и распространения излучения, а также его взаимодействием с освещаемыми предметами, включая элементы зрительной системы человека, физиологическая составляющая формирования цветовосприятия представляется наиболее важной. Для большинства людей как «потребителей» цветной информации нет необходимости выявления причин возникновения цветного образа и факторов, влияющих на его качество и тем более его количественных характеристик. И в этом случае вполне хватает словарного выражения своего отношения к тому или иному цветному событию. Но когда речь идет о выпуске цветной продукции (ткани, бумага, пластмассы, различные строительные материалы), когда наряду с другими показателями ее качества в техническом задании оговаривается её цвет, многие вопросы цветовосприятия и особенно метрологического обеспечения технологического процесса играют уже важную роль [2, 3]. Аналогичная ситуация возникает при использовании цветной продукции, например, в работе архитекторов и цветодизайнеров, так как именно выявление законов колористики обеспечивает качество предполагаемого решения.

Окружающей действительности свойственно цветное многообразие, и уверенная ориентация в нем облегчается знакомством с признаками, по которым один цвет отличается от другого. В связи с этим базовым понятием является деление цвета на ахроматические (в переводе с греческого – бесцветные) и хроматические, среди которых важную роль играют спектральные цвета – монохроматическое излучение с определенной длиной волны. Двойственная природа цвета предполагает при характеристике его свойств использовать как объективные, так и субъективные параметры.

Объективные параметры цвета

Физический аспект цветного зрения ответственен за количественное описание свойств излучения перед поступлением в зрительную систему человека, поэтому к числу объективных параметров относятся доминирующая длина волны, чистота света и энергетическая яркость [4]. Доминирующая длина волны определяется как длина волны спектрального цвета, который в смеси с белым воспроизводит белый цвет. Соответственно, доля белого цвета, необходимая для данной процедуры, определяет чистоту цвета, которая равна отношению мощности излучения спектрального цвета к суммарной мощности излучения смеси и выражается в процентах. Все спектральные цвета имеют, естественно, чистоту, равную 100%, а чистота всех ахроматических цветов равна нулю. Степень энергетического воздействия излучения на зрительную систему характеризуется фотометрической яркостью. Доминирующая длина волны и чистота цвета определяют его качество, и их совокупность носит название цветности. Два цвета тождественны, если они имеют одинаковую цветность и одинаковую яркость. Для не-самосветящихся объектов в качестве энергетического параметра цвета удобнее использовать диффузный коэффициент отражения.

Субъективные характеристики цвета

В повседневной жизни отсутствует возможность применения вышеуказанных параметров цвета, поэтому используется словесное описание всех нюансов цветовых ощущений, называемое цветовым тоном, который является основным атрибутом цветового

зрения. Цветовой тон ассоциируется в человеческом сознании с определенным типом пигмента, краски, красителя. Свойство зрительного восприятия, позволяющее оценивать пропорцию чистого спектрального цвета в полном цветовом ощущении, называется насыщенностью цвета, то есть эта величина определяет ощущение чистоты цвета и сопоставляется с количеством (концентрацией) пигмента, краски, красителя. Насыщенность, несмотря на то что она является качественной характеристикой, может быть измерена в так называемых порогах цветоразличения, под которыми понимается наименьшее воспринимаемое глазом различие в цвете. Свойство зрительного ощущения, согласно которому предметы воспринимаются испускающими больше или меньше света, называется светлотой. В отличие от яркости, светлота – величина субъективная, как и все ощущения. В соответствии с законом Гельмгольца – Кольрауша [5] на величину светлоты влияет насыщенность цвета, а закон Вебера – Фехнера [6] определяет изменение величины ощущения ΔS от изменения яркости ΔB :

$$\Delta S = kLg \Delta B.$$

Любая характеристика цветоощущения может зависеть от всех других его характеристик, поэтому при анализе конкретного параметра следует учитывать их взаимосвязь. Также следует учитывать влияние условий наблюдения: характер фона, на котором рассматривается данный цвет, настроение человека, его цветовые предпочтения.

Формирование цветных восприятий

Не нужно быть специалистом в вопросах цветоведения, чтобы утверждать, что спектр факторов, влияющих на качество цветовосприятия человеком предметов, весьма обширен. Рассмотрим ту часть тракта формирования цветного образа, которая основана на физических законах и включает в себя источник света естественного происхождения или искусственно созданного, объект наблюдения с неизменными физическими характеристиками и нормально функционирующую зрительную систему. Указанная модель цветовосприятия включает также воздушную среду при распространении излучения и наличие рядом расположенных предметов. Итак, в рамках указанной модели излучение от конкретного источника света с определенным спектральным составом освещает рассматриваемый предмет. Спектральные характеристики отраженного или проходящего света изменяются в соответствии со спектральными коэффициентами отражения и поглощения материала данного тела и воздействием воздушной среды и рядом расположенных объектов. С помощью оптической системы глаза «отфильтрованное» предметом излучение попадает на сетчатку, на которой расположены фотоприемные элементы – фоторецепторы. В результате воздействия на них излучения видимого диапазона возникают электрические импульсы, которые с помощью нервных окончаний достигают головного мозга человека, где в конечном итоге и возникает цветной образ рассматриваемого объекта. Рассмотрим роль указанных элементов в его формировании.

Поскольку без света нет цвета, то следует подчеркнуть важную роль источника освещения, так как именно он обеспечивает возможность наблюдать предметы во всем многообразии их цветовых оттенков. Естественное освещение (излучение Солнца и его различные модификации), а также многочисленные искусственные источники света [7] как первопричины возникновения цветного образа обладают различными параметрами, из которых наиболее важными (в рамках цветоведения) являются цветовая температура и индекс цветопередачи [8]. Первый параметр связан с температурой абсолютно черного тела с родственным спектральным составом, а второй – с оценкой качества цветопередающих свойств данного источника по сравнению с эталонным. Оба параметра определяются спектральным составом излучения, что объясняет изменение цветовых характеристик предметов при изменении характера освещения.

Если источник света, наблюдаемый предмет и человек находятся достаточно близко друг от друга, то можно пренебречь влиянием воздушной среды на цветовосприятие, и поэтому трансформация спектрального состав излучения связана с взаимодействием излучения с самим наблюдаемым объектом. Результат такого взаимодействия с твердотельными предметами существенным образом влияет на спектральное распределение излучения, определяемое спектральными коэффициентами отражения и пропускания. Именно эти характеристики наблюдаемых предметов определяют его **окраску**, то есть способность предмета отражать или пропускать излучение определенного спектрального состава, в то время как **цвет** того, что мы наблюдаем, – результат реализации этой способности в определенных условиях освещения. Таким образом, спектральные характеристики отраженного света определяются совместным влиянием материала объекта и спецификой данного освещения. Поэтому, даже не принимая во внимание другие факторы, влияющие на цветовое восприятие предмета, за исключением роли источника освещения, трудно говорить о цвете как некоем атрибуте конкретного предмета, то есть говорить о предметном цвете. Но, если только спектральные характеристики материала объекта наблюдения оказывают влияние на спектральное распределение излучения, возникший цветовой образ предмета будет характеризовать его цветопередачу. И, как подсказывает опыт, наилучшим источником с этой точки зрения является дневной рассеянный свет. Таким образом, **предметный цвет** характеризуется спектральным составом излучения, попавшего непосредственно в органы зрения человека при отражении дневного рассеянного света от наблюдаемого объекта.

В завершение рассматриваемого модельного представления формирования цветного образа предмета излучение источника, подвергнутое воздействию самого наблюдаемого объекта, попадает в зрительную систему и воздействует на светочувствительные приемники (фоторецепторы) излучения видимого диапазона под названием палочки и колбочки [9]. При этом палочки обеспечивают зрение в условиях слабой освещенности, а колбочки ответственны за цветное зрение. Следует отметить, что абсолютно достоверной теории цветного зрения не существует и в настоящее время наиболее популярна так называемая трехкомпонентная теория (Г. Гельмгольц, Т. Юнг) [10], согласно которой существует три вида фоторецепторов цветного зрения (три вида колбочек), их максимальная чувствительность соответствует красной, зеленой и синей областям спектра. Методы микрофотометрии и электрофизиологии подтверждают справедливость трехкомпонентной теории цветового зрения. Под действием света молекулы палочек и колбочек диссоциируют на положительные и отрицательные ионы. Это вызывает импульс тока в нервных волокнах зрительного нерва, который распространяется по направлению к соответствующему разделу головного мозга со скоростью 100 метров в секунду. Тот факт, что спектральные распределения поглощения трех типов колбочек частично перекрываются, с одной стороны, обеспечивает все многообразие цветов и их оттенков окружающего мира, а с другой стороны, обеспечивает возникновение явления метамерии [11], когда разные по спектральному составу излучения воспринимаются равноокрашенными. Нарушение функционирования отдельных типов колбочек приводит к различного вида цветоаномалиям, т. е. к нарушению цветного зрения, когда имеет место частичное или полное невосприятие основных цветов.

Ситуация, когда одиночно расположенный предмет освещен дневным рассеянным светом и рассматривается с близкого расстояния, в высшей степени эпизодична. Кроме того, на сетчатку глаза действуют вовсе не предметы сами по себе и даже не отраженный от них световой поток, а излучение, которое на пути к органу зрения претерпело изменения, и порой весьма значительные.

В случае удаленных от наблюдателя источника освещения (в первую очередь естественного происхождения) и наблюдаемого объекта наличие воздушной среды сказывается на спектральных характеристиках излучения, попадающего в зрительную систему [12]. Это влияние связано с рассеянием излучения, вызванного флуктуациями плотности воздуха (молекулярное рассеяние) или и наличием в атмосфере пыли и влаги. В первом случае интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны (закон Релея), и этим объясняется голубой цвет неба, желтовато-красный цвет солнечных лучей в вечернее и утреннее время. По этой же причине слабоотражающие удаленные темные предметы, как правило, кажутся голубоватыми, и, наоборот, белые или очень светлые хорошо отражающие объекты (заснеженные горные вершины или облака) отражают большее количество цвета и поэтому кажутся нам с розовым оттенком. Слабое рассеяние красных лучей используют в сигнализации: опознавательные огни на аэродромах, наиболее ответственный сигнал светофора и т. п. Если рассеяние света происходит за счет взвешенных частиц, то его интенсивность характеризуется более слабой зависимостью от длины волны, поэтому рассеянный свет теряет свою голубизну и становится белее. Все сказанное объединяется таким понятием, как **воздушная перспектива**.

Еще одним фактором, влияющим на цветовые характеристики объекта, является наличие рядом расположенных предметов. Это приводит к тому, что результирующий световой поток от рассматриваемого тела, попадающий в зрительную систему, включает в себя не только излучение источника освещения, но и излучение рядом расположенных объектов, отраженное данным телом. Этот дополнительный вклад получил название **рефлекса** [13] (что в переводе с латыни означает «отражать»). Подобно зеркалу, все предметы в той или иной мере отражают в себе окружающие тела, поэтому в его цвете присутствует мозаика из рефлексов.

Таким образом, под влиянием перечисленных выше условий предметный цвет может изменяться по всем параметрам, его характеризующим, и такой измененный цвет получил название **обусловленного**.

Естественно, что физический аспект цветного зрения не может объяснить все нюансы цветовосприятия. поэтому некоторые его особенности находятся в плоскости психофизиологии. Например, константность цвета (или цветопостоянство) [14] – способность зрения корректировать восприятие цвета объектов, то есть оно не меняется при изменении (в некоторых пределах) спектрального состава источника излучения. Еще одним проявлением психофизиологических особенностей зрительного восприятия цветных объектов является тот факт, что, несмотря на плодотворную деятельность оптической системы глаза и зрительных центров головного мозга, их совместная работа создает немало оптических обманов зрения, которые рассматриваются как **оптические иллюзии** [15]. Их возникновение связано с искажением зрительного восприятия окружающего мира благодаря отсутствию корректирующей деятельности головного мозга. В зависимости от характера искажений оптические иллюзии подразделяются на **оптико-геометрические**, проявляющиеся в нарушении зрительного восприятия угловых и линейных характеристик объектов, и собственно **оптические**, вызывающие кажущиеся изменения реальных цветовых параметров при определенных условиях наблюдения.

Жесткие рамки журнальной статьи не позволяют достаточно подробно осветить наиболее важные вопросы формирования цветовосприятия, но даже фрагментарное ознакомление студентов строительной специальности с данной проблематикой, особенно с ее физическим аспектом, а также некоторыми физиологическими особенностями цветного зрения представляется весьма полезными.

Ссылки на источники

1. Архитектурная физика / под ред. Н. В. Оболенского. – М.: Стройиздат, 2001. – 441 с.
2. Джад Д., Вышецкий Г. Цвет в науке и технике / пер. с англ. под ред. Л. Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 530 с.
3. Луизов А. В. Цвет и свет. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 254 с.
4. Архитектурная физика / под ред. Н. В. Оболенского.
5. Там же.
6. Гусев Н. М. Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 253 с.
7. Архитектурная физика / под ред. Н. В. Оболенского.
8. Луизов А. В. Указ. соч.
9. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высш. шк., 1987. – 638 с.
10. Архитектурная физика / под ред. Н. В. Оболенского.
11. Луизов А. В. Указ. соч.
12. Там же.
13. Медведев В. А. Цветоведение: учеб. пособие: курс лекций. – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2005. – 116 с.
14. Луизов А. В. Указ. соч.
15. Гусев Н. М. Указ. соч.

Dmitry Elakhovskiy,

Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor at the chair of General Physics, Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

elahovsky@mail.ru

Basic physics of color science for students majoring in civil engineering

Abstract. Color plays a significant role in developing architectural concepts of color schemes for city ensembles and separate buildings. Therefore it seems useful to introduce students majoring in civil engineering to the basics of color science and with its physics component in particular. The author considers objective and subjective features of color and discusses a model of color sensations formation which includes light source, an observed object, and a visual system of a human being. The paper deals with some factors that affect the color image quality of the observed object and suggests its physical interpretation. Some physiological aspects of color vision are also considered.

Key words: color, color objective parameters, color vision, aerial perspective.

References

1. Obolenskiy, N. V. (ed.) (2001). *Arhitekturnaja fizika*, Strojizdat, Moscow, 441 p. (in Russian).
2. Dzhad, D. & Vyshecki, G. (1978). *Cvet v nauke i tehnike*, Mir, Moscow, 530 p. (in Russian).
3. Luizov, A. V. (1989). *Cvet i svet*, Jenergoatomizdat, Leningradskoe otdelenie, Leningrad, 254 p. (in Russian).
4. Obolenskiy, N. V. (ed.) (2001). Op. cit.
5. Ibid.
6. Gusev, N. M. (1975). *Osnovy stroitel'noj fiziki*, Strojizdat, Moscow, 253 p. (in Russian).
7. Obolenskiy, N. V. (ed.) (2001). Op. cit.
8. Luizov, A. V. (1989). Op. cit.
9. Remizov, A.N. (1987). *Medicinskaja i biologicheskaja fizika*, Vyssh. shk., Moscow, 638 p. (in Russian).
10. Obolenskiy, N. V. (ed.) (2001). Op. cit.
11. Luizov, A. V. (1989). Op. cit.
12. Ibid.
13. Medvedev, V. A. (2005). *Cvetovedenie: ucheb. posobie: kurs lekcij*, IPC SPGUTD, St. Petersburg, 116 p. (in Russian).
14. Luizov, A. V. (1989). Op. cit.
15. Gusev, N. M. (1975). Op. cit.

Рекомендовано к публикации:

Горевым П. М., кандидатом педагогических наук,
главным редактором журнала «Концепт»

Поступила в редакцию <i>Received</i>	08.02.16	Получена положительная рецензия <i>Received a positive review</i>	10.02.16
Принята к публикации <i>Accepted for publication</i>	10.02.16	Опубликована <i>Published</i>	29.03.16



www.e-koncept.ru

© Концепт, научно-методический электронный журнал, 2016

© Елаховский Д. В., 2016