

Семенов Б. Ю.



ЭКОНОМИЧНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ДЛЯ ВСЕХ

Свет в вашем доме
Свет и его источники
Эффективные электронные балласты
Твердотельное будущее
Если жить, то в «умном доме»



ISBN 5-91359-073-2



9 785913 590732

УДК 621.396.218
ББК 32.884.1
С30

Б. Ю. Семенов

С30 Экономичное освещение для всех. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012. — 224 с.: ил. — (Серия «Технологии энергосбережения»).

ISBN 978-5-91359-073-2

В настоящее время значительно возрос интерес к надежным и экономичным осветительным приборам. Последние разработки в области электроники позволили по-другому взглянуть на известные всем люминесцентные лампы, а также обратиться к новым источникам света на основе сверхъярких светодиодов со спектром излучения, близким к белому свету. Предлагаемая читателю книга расскажет о применении бытовых люминесцентных ламп с электронными балластами, поможет самостоятельно рассчитать, изготовить или отремонтировать электронный балласт. Кроме этого, в книге можно найти сведения об элементарных правилах создания качественного освещения, о перспективных идеях «завтрашнего дня» — о комфортабельном «умном доме» и об устройствах, помогающих превратить обычный дом в дом «умный».

Книга адресуется гражданам России, домашним мастерам, специалистам-электрикам и всем тем, кто желает повысить уровень комфорта в среде своего обитания.

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из трех способов:

1. Послать письмо с пустым конвертом по адресу: 123001, Москва, а/я 82.
2. Оформить заказ можно на сайте **www.solon-press.ru** в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать по тел. (495) 254-44-10, (499) 252-36-96 или по e-mail: kniga@coba.ru.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте. Для этого присылайте конверт с маркой по адресу, указанному в п. 1.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно указать дополнительно свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет Вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса **www.solon-press.ru/kat.doc**.

Интернет-магазин размещен на сайте **www.solon-press.ru**.

По вопросам приобретения обращаться:

Тел: (495) 254-44-104, (499) 795-73-26

Сайт издательства СОЛОН-ПРЕСС: **www.solon-press.ru**

E-mail: **kniga@coba.ru**

ISBN 978-5-91359-073-2

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2012

© Б. Ю. Семенов, 2012

Глава 1

СВЕТ В ВАШЕМ ДОМЕ

Человечество никогда не мыслило свою жизнь без света, ну разве что в фантастических художественных произведениях иногда рисуются мрачные и темные апокалиптические картины. Люди настолько привыкли к свету, что даже когда солнце заходит за горизонт, на улицах включаются фонари, а в домах — светильники. Без света не смогли бы жить и развиваться растения, животные, многие микроорганизмы. Но что же такое — свет? Какова его природа? Как оценить освещенность того или иного места? Об этом — первая глава нашей книги.

1.1. Что такое это чудо — свет?

Чудо? Хм... — наверняка скажут автору читатели, и будут совершенно правы. Никакого чуда действительно нет, а есть одна сплошная физика, известная еще со школы. Открыты законы, написаны формулы, далеко продвинулись оптические науки. Но так было не всегда: существовали времена, когда люди считали, что глаза испускают особые лучи, с помощью которых удастся видеть предметы. Теперь-то мы знаем, что предметы видно совсем по другой причине! Тем не менее, можем ли мы честно признаться себе, что нам известно о природе и об основных законах света практически все? Едва ли. Обычно доскональное знание «назубок» той или иной науки (пусть даже в ее практическом приложении) характерно для людей, изо дня в день имеющих дело с данной наукой. Инженер-оптик ежедневно занимается проектированием оптических приборов, инженер по освещению ежедневно разрабатывает строительные проекты...

Среди читателей этой книги найдутся люди самых разнообразных профессий, для которых многие законы физики остались где-то далеко, в школьных и институтских годах, уже основатель-

но подзабыты. Поэтому автор счел необходимым начать именно с физики света, с основных законов, на базе которых удастся решить подавляющее большинство практических задач. Здесь вы не встретите громоздких формул, многостраничных теоретических исследований — только самое-самое основное.

Итак, свет. Собственно, ничего «секретного» в природе света нет. Это обычная электромагнитная волна, которая имеет определенный диапазон своих длин, и, соответственно, частот, и которая распространяется в пространстве со скоростью, равной $2,997925 \cdot 10^8$ м/с. Эта скорость так и называется — «скорость света в вакууме». Ее измерили сначала именно для световой волны, потом распространили на другие диапазоны электромагнитных волн. Подробнее об электромагнитных волнах вы сможете почитать, например, в книге [1].

Любая электромагнитная волна, в том числе и световая, распространяется в пространстве. Как происходит этот процесс? Вспомним детскую игру «хождение по болоту», когда всем участникам выдаются по два небольших коврика, на которые (и только на которые) они имеют право наступать, чтобы двигаться вперед. Выиграет тот, кто быстрее сможет передвигать коврики, но для объяснения явления распространения электромагнитной волны это уже неважно. Так и электромагнитная волна — в упрощенном виде ее можно нарисовать как ряд колечек «Е» и «Н», расположенных друг через друга (рис. 1.1). Исчезло заднее колечко «Е» (электрическое поле), как тут же впереди возникло колечко «Н» (магнитное поле).

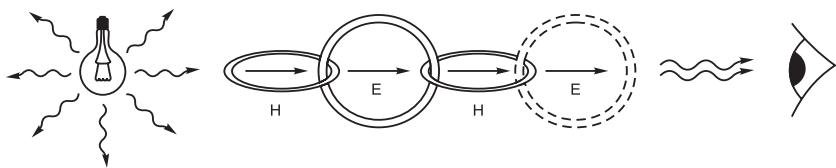


Рис 1.1. Простейшее представление световой волны

Когда волна встречает на своем пути препятствие, она от него отражается, и именно в отраженном свете мы можем различать предметы. Наш глаз — это приемник световых электромагнитных волн, который, конечно, сам ничего не излучает.

Более сложная модель электромагнитной волны показана на рис. 1.2. На этом рисунке магнитная составляющая волны (H) по-

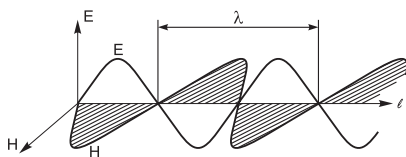


Рис. 1.2. К определению длины волны

казана горизонтальной синусоидой, а электрическая (E) — вертикальной синусоидой. Обычно для гармонических сигналов в электротехнике мы можем определить период, как временной промежуток между двумя одинаковыми фазами сигнала. Электромагнитная волна распространяется в пространстве, и кроме периода (или частоты, что является величиной, обратной периоду) имеет также *длину*, то есть расстояние между одинаковыми фазами напряженности полей H , E в пространстве. На рис. 1.2 длина волны обозначена как λ , а определить длину волны можно по формуле

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1.1)$$

где c — скорость света в вакууме;

f — частота волны.

По данным длины волны для разных электромагнитных излучений составлена единая *шкала электромагнитных волн*, в которой занимают свое место и радиоволны, и рентгеновские лучи, и другие виды излучений. Видимый человеческим глазом свет занял на шкале очень узкий участок в диапазоне длин волн от $780 \cdot 10^{-9}$ м до $380 \cdot 10^{-9}$ м, то есть от 780 до 380 нанометров (рис. 1.3). Слева к участку видимого света примыкает участок ультрафиолетового (УФ) излучения (от 10 до 380 нм), а справа находится участок инфракрасного (ИК) излучения (от 780 нм до 1 мм). На самом деле, конечно, с точки зрения восприятия видимого света нельзя установить четких границ, поскольку они зависят от чувствительности глаза конкретного наблюдателя. Все три вида излучения в научной

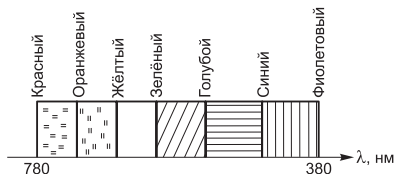


Рис. 1.3. Оптическое излучение

литературе называются *оптическим излучением*. Недавно в диапазон оптического излучения были также «зачислены» рентгеновские лучи. В табл. 1.1 приведено более детальное описание диапазонов оптического излучения.

Таблица 1.1. Диапазоны оптического излучения

Название излучения	Длина волны, нм
Ультрафиолетовое излучение типа С (УФ-С)	100...280
Ультрафиолетовое излучение типа В (УФ-В)	280...315
Ультрафиолетовое излучение типа А (УФ-А)	315...380
Видимый свет	380...780
Инфракрасное излучение типа А (ИК-А)	780...1400
Инфракрасное излучение типа В (ИК-В)	1400...3000
Инфракрасное излучение типа С (ИК-С)	3000 нм...1 мм

Все три вида традиционных видов оптического излучения используются в осветительной технике. Правда, УФ-излучение используют совместно с видимыми источниками в специальных целях, для дезинфекции помещений, а ИК-излучение помогает при проектировании вспомогательной аппаратуры (датчики движения, дистанционные пульты управления). В рамках этой книги об УФ-излучении мы будем лишь упоминать там, где это окажется уместным, об ИК-излучении основательно вспомним лишь в последней главе, а о видимом свете... собственно, разговор очень подробный — ему посвящается данная книга!

УФ-излучение типа С (УФ-С) помогает нам загорать в солнечный день, УФ-излучение типа В (УФ-В) выступает катализатором химических реакций, а УФ-излучение типа А (УФ-А) обладает бактерицидным свойством (убивает микробы) и широко используется в медицине. Фотохимическое действие УФ-излучения легко наблюдать, если положить обычную цветную фотографию на освещенный солнцем подоконник: через некоторое время фотография сильно изменит цветопередачу. Кроме этого, УФ-излучение с помощью специальных веществ, называемых *люминофорами*, может быть преобразовано в видимое излучение.

А теперь давайте обратимся к нашей памяти и постараемся вспомнить одно из самых ярких впечатлений детства. Вне всякого сомнения, у большинства читателей это воспоминание связано с радугой, появившейся на небе после уходящего дождя, в лучах неожиданно вышедшего из-за туч солнца. Немного позже, уже в школе, мы научились безошибочно называть последовательность радужных цветов, используя мнемоническое правило-поговорку «Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан». Эта совокупность цветов называется *спектром*. Проверим себя по рис. 1.3: действительно, последовательность смены цветов в спектре именно такая: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Как видно из рис. 1.3, красная область спектра имеет максимальную длину волны, фиолетовая — минимальную. Легко запомнить также, что инфракрасная (ИК) область примыкает к «красной» части спектра видимого света, а ультрафиолетовая (УФ) — к видимой фиолетовой.

История о том, как люди изучали спектр видимого света, достаточно интересная и занимательная. Многие ученые, имена которых вписаны золотом в мировую науку, посвящали этому десятилетия жизни. Например, Исаак Ньютон одним из первых всерьез исследовал радугу, что называется, «в домашних условиях». Сам он описал этот опыт так: «В начале 1666 года я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с нею произвести опыты над знаменитым явлением цветов. Для этой цели, затемнив свою комнату и проделав небольшое отверстие в оконных ставнях для пропуска в нужном количестве солнечного света, я поместил призму там, где входил свет, так что он мог преломляться к противоположной стене. Зрелище живых и ярких красок, получавшихся при этом, доставляло мне приятное удовольствие». Опыты были усложнены и продолжены. Через некоторое время в свет вышли монографии «Новая теория света и цветов» и «Оптика». Ньютон выяснил, что лучи разного цвета по-разному преломляются в призме, а белый видимый свет состоит из набора лучей с разными цветами.

Целых 20 лет жизни отдал изучению свойств спектра видимого света немецкий поэт, философ и ученый И.-В. Гете. Он заинтересовался вопросом влияния цвета на эмоциональное состояние человека и после проведенных исследований написал книгу «Учение о цветности». Гете считал, что каждый цвет уникальным образом воздействует на человека: синий вызывает чувство холода, крас-

ный возбуждает, зеленый умиротворяет, желтый приносит радость. Его заслуга — создание начал теории цветовой гармонии, столь важной для дизайнерских разработок цвето-световой гаммы помещений.

Одно из основных находок Гете — так называемый «круг естественных цветов», показанный на рис. 1.4. Круг имеет два треугольника: треугольник основных (первичных) цветов СЖК и треугольник дополнительных (дуплетных) цветов ФОЗ. Между вершинами этих треугольников находятся смешанные цвета второго порядка (КО, ЖО, ЖЗ, СЗ, СФ, КФ). Но где здесь голубой цвет? По теории Гете голубой цвет отнесен к области цветов второго порядка, занимающего положение между синим (С) и зеленым (З).



Рис. 1.4. Круг естественных цветов Гете

Кто же прав — Ньютон, деливший круг на семь частей, или Гете, деливший его на шесть частей, — до сих пор остается в некоторой степени загадкой. Теория Гете более стройна и красива, но во многом справедлив и Ньютон. Предоставим окончательное решение проблемы специалистам-цветоведам. Нам же, преследующим сугубо практические цели, не стоит забывать, что цвет на самом деле как таковой в природе не существует — это результат восприятия электромагнитной волны человеческим глазом.

Кругом естественных цветов Гете активно пользуются дизайнеры, составляя *цветовые сочетания*. Как это не удивительно, но цветовые сочетания имеют научно обоснованные законы составления, подтвержденные многочисленными экспериментами. Люди, обладающие художественным вкусом, обычно интуитивно чувствуют, какие два цвета можно совместить, поставить рядом, а какие — нет. Экспериментально установлено, что наиболее привлекательны и гармоничны *контрастные сочетания*, то есть сочетания К-З, Ж-Ф, С-О, расположенные друг против друга в круге Гете. Гораздо менее гармоничны сочетания, расположенные по сторонам обоих треугольников, например, Ф-О, К-С. Гармоничными считаются

сочетания, расположенные в круге под углом 90 градусов, к примеру, ЖО-К, Ж-СЗ. Приятными для глаз могут оказаться также монокромные сочетания, то есть расположенные по соседству в круге Гете: СЗ-С, С-СФ и аналогичные. Еще один дизайнерский прием — одноцветные сочетания. Этот прием нам служит верную службу, когда мы отправляемся обновлять свой гардероб и подбираем, например, коричневые ботинки к коричневым перчаткам.

Эмоциональное состояние человека — теперь и это доказано — зависит от цветовой обстановки вокруг него. В простейшем случае цвета «красный», «оранжевый» и «желтый» воспринимаются как «теплые»; «синий» и «фиолетовый» — как «холодные». Замечено также, что «зеленый» имеет «теплые» и «холодные» оттенки.

Наука о цветах и их гармоничным сочетаниям служит не только удовлетворению эстетических потребностей человека. Конечно, она подскажет, как эффектнее выглядеть на вечеринке, как составить цветочный букет, но этим не ограничивается ее применение. Проведенные в начале XX века исследования показали, что в случае выполнения человеком кратковременной интенсивной работы, его силы мобилизуются при красном внешнем освещении и падают при синем. Если же человек выполняет спокойную и длительную работу, утомляемость быстрее наступает при синем и фиолетовом свете, нежели при зеленом. В атмосфере оранжевого, желтого и красного цветов учащается дыхание, ускоряется пульс, повышается кровяное давление, усиливается аппетит. Синий, фиолетовый и зеленый цвета вызывают обратный эффект.

А вы, уважаемые читатели, никогда не замечали, что достаточно в помещении сменить цветовую окраску люминесцентных ламп, например, с «теплой» на «холодную», как помещение становится неуютным и хочется поскорее его покинуть? Не правда ли, в таком случае очень трудно сразу найти внятное объяснение — тут просто хочется «сменить обстановку» или «что-то поменять» без всяких объяснений, интуитивно. Скажем больше: имеются достоверные статистические данные о снижении случаев травматизма на производстве при проведении специальных работ по подбору цветов окраски стен, станков, выбору цветовой гаммы осветительных приборов. В отдельных источниках утверждается, что научный подход к выбору цветовой палитры производственных помещений позволяет снизить наполовину число несчастных случаев.

Выбор цветов для сигнальных устройств, кстати, регламентируется международными стандартами. Зеленый цвет применяют

для обозначения работоспособного состояния, а красный сигнализирует об аварии. Здесь же упомянем всем известный светорегулятор уличного движения и строчки из детского стихотворения «красный свет — дороги нет», «...а зеленый свет — иди».

Некоторым читателям наверняка будет интересно узнать, что с помощью цветовых оттенков можно управлять ростом флоры в домашнем аквариуме. Если в аквариуме собраны растения из разных уголков земного шара, из разных естественных условий, очень трудно подобрать оптимальный и единый для всех режим освещения. Опытные аквариумисты выходят из положения следующим образом: они комбинируют лампы с разным спектральным составом (лампы накаливания и люминесцентные лампы).

* * *

Но мы достаточно углубились в премудрости дизайнерских и естественных наук, чтобы пока на этом остановиться (у нас впереди — целый тематический раздел) и вернуться к разговору о том, что же такое на самом деле свет и как он воспринимается человеческим глазом. Здесь нам поможет наука анатомия, которая предоставит сведения о строении уникального природного оптического прибора, прообраза видеокамеры, более известного как «человеческий глаз».

На рис. 1.5 в упрощенном виде показан этот самый «глаз». Он имеет оболочку «1», на внутренней стороне которой имеется светочувствительная поверхность «2», более известная как *сетчатка*. Информация с сетчатки по зрительному нерву «3» поступает в головной мозг. Для «настройки на резкость» и адаптации к различ-

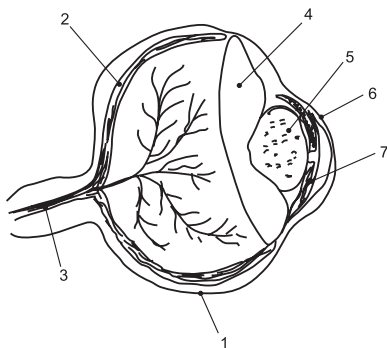


Рис. 1.5. Устройство глаза человека

ной яркости освещения служат *стекловидное тело* «4», линза «5» и *радужная оболочка с хрусталиком* «6». Внешне глаз защищен *роговой оболочкой* «7». Наиболее интересным элементом глаза является сетчатка. Она состоит из огромного количества ячеек, образованных так называемыми *палочками* и *колбочками*. Палочки чувствительны только к интенсивности света и различать цвета не в состоянии. Их функция — «работать» в условиях малой освещенности (так называемое «сумеречное зрение»). Другой вид светочувствительных элементов — колбочки — в состоянии различать и интенсивность света, и цвет («дневное зрение»). Всего в сетчатке глаза насчитывается около 120 миллионов палочек и 6 миллионов колбочек.

Колбочки в условиях низкой интенсивности освещения теряют возможность различать цвета, и этим объясняется потеря чувствительности глаза к цвету в условиях затемнения. Другими словами, бессмысленно искать «черную кошку в темной комнате», поскольку «ночью все кошки — серые». В темное время суток мы плохо различаем цвета, но в состоянии определить, что зеленый предмет субъективно светлее красного.

Чувствительность глаза к различным длинам световых волн неоднородна, о чем свидетельствует рис. 1.6, называемый «графиком относительной световой эффективности». Более того, чувствительность глаза зависит от интенсивности освещения. Как видно из рис. 1.6, максимум чувствительности «дневного зрения» (кри-

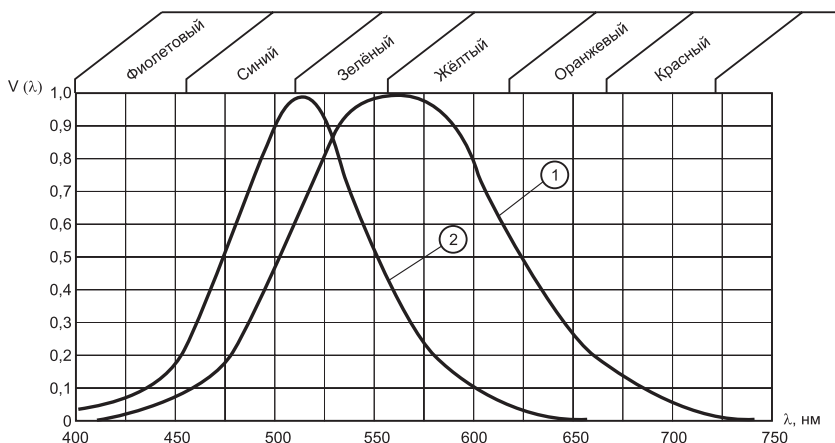


Рис. 1.6. График относительной световой эффективности

вая 1) приходится на длину волны порядка 555 нм («желтая» область), а максимум чувствительности «сумеречного зрения» (кривая 2) смещается в «зеленую» область — к длине волны 507 нм. Из графика также видно, что субъективно источники зеленого и синего света с одинаковой интенсивностью будут восприняты как источники со значительным отличием интенсивности.

Человеческий глаз — очень сложный, а потому и очень «гибкий» прибор, умеющий достаточно быстро адаптироваться к изменению условий окружающей среды. Сужением и расширением зрачка глаз настраивается на конкретную яркость освещения, причем адаптация сетчатки при переходе из темноты к свету происходит практически мгновенно, а при переходе из светлой среды в темную она займет несколько минут. По этой причине после резкого выключения света в помещении нам кажется, что вокруг «крошечная темень», и только спустя некоторое время начинаем различать предметы, контуры и т. д. В кинотеатрах и концертных залах по этой причине свет гасят не резко, а постепенно убавляют его интенсивность.

Глаз до некоторой степени может адаптироваться и к цветовой гамме, подгоняя ее под естественное (солнечное) освещение. Как это происходит? Например, вечером, за праздничным столом вам захотелось сфотографировать сидящих напротив друзей. Вы берете фотоаппарат, выдвигаете вспышку и нажимаете на спусковую кнопку, но вспышка — увы — не срабатывает. Позже, получив фотографии, вы отметите, что изображение «страдает» желтизной, и «спишите» дефект на недостаточное освещение. На самом деле «желтизну» фотографии придают лампы накаливания, которые имеют характерный спектр излучения. Глаз тоже чувствует «желтизну», но поскольку человеку более приятен солнечный свет, включается механизм компенсации. Кстати, современные цифровые фотоаппараты имеют опции настройки съемки в условиях искусственного освещения (под спектр ламп накаливания, люминесцентных ламп, галогенных ламп).

* * *

Закончив с анатомией, вернемся к физике, а именно к электромагнитным излучениям и разберемся с таким часто встречающимся понятием, как *цветовая температура*. Вне всякого сомнения, те читатели, кто хотя бы раз покупал или настраивал компьютерный дисплей, с этим понятием встречались. Ну а те, кто пока

не встречался с ним, наверняка спросят, к чему этот рассказ? Отвечаем: чуть позже, когда мы будем рассказывать о конкретных источниках света, знание законов, определяющих цветовую температуру, нас очень выручит.

Итак, законы физики утверждают, что любой предмет, абсолютная температура которого более 0°K , испускает тепловое излучение в инфракрасной (ИК) части оптического диапазона. Напомним, что между температурой в абсолютной температурной шкале Кельвина и в температурой по привычной нам шкале Цельсия определяется из следующего соотношения:

$$T_c = T_k - 273, \quad (1.2)$$

где T_k — температура по абсолютной шкале, $^\circ\text{K}$;

T_c — температура по шкале Цельсия, $^\circ\text{C}$.

При нагревании предмета излучение в инфракрасной части спектра усиливается, потом (с повышением температуры) начинается излучение в видимой красной части спектра. Далее следуют желтый и фиолетовый цвета, возникает ультрафиолетовое (УФ) излучение. Вы не раз наблюдали этот процесс, например, при работе спиральной электроплитки. Сначала спираль разогревается без света, потом накаляется «докрасна». Температура начала свечения приблизительно равна 1200°K . В некоторых случаях, при возникновении неисправности, связанной с замыканием части витков, спираль раскаляется до оранжевого свечения (приблизительно 2000°K) и даже почти «добела», то есть излучает желтый свет (температура — 3000°K). Это состояние для спирали электроплитки считается аварийным — она быстро перегорает, то есть расплавляется. Если бы спираль не перегорала, мы смогли бы получить чисто белый свет, голубой, синий и фиолетовый!

«Хорошо, — скажет читатель, — но мы видим предмет уже задолго до того, как он начинает излучать видимый свет». Почему? Здесь тоже все просто: свет бывает как *излученным*, так и *отраженным*. Излученный свет мы видим в том случае, если предмет испускает электромагнитные волны в диапазоне видимого света. Этот свет может быть как-то окрашен в случае излучения неполного или неравномерного спектра волн, либо приближаться к белому — если спектр полный и равномерный. Но световое излучение, как электромагнитные волны других диапазонов, может отражаться от препятствий, меняя направление своего движения. Именно благо-

даря *отраженным* световым волнам мы наблюдаем предметы, не излучающие в нужной части спектра.

Очевидно, что белый лист бумаги, черная обложка книги, красный корпус ручки видны на столе только потому, что от них отражается белый свет настольной лампы. Но почему белый — это белый, черный — это черный, а красный — это красный? Почему, скажем, все названные предметы не окрашиваются светом настольной лампы в белый цвет (или, если точнее, то в отсутствие цвета)? Дело в том, что разные поверхности имеют разную способность к отражению. Белая бумага равномерно и максимально отражает падающий на нее свет, черная обложка максимально и равномерно поглощает падающий свет, а красный корпус ручки поглощает только «зеленую» и «синюю» части излученного спектра световых волн. Именно неравномерность спектрального поглощения придает «холодным» поверхностям предметов цвета! Кстати, если мы подсветим те же самые предметы светом, отличным от белого, эти предметы поменяют цвета. И если читатель считает, что изменение гаммы отраженного света не так важно, спешим его уверить — важно, да еще как! Представьте, что вы выбрали в зале магазина с «авангардным» искусственным освещением «сногосшибательную вещичку». Выйдя затем на улицу, на яркий солнечный свет, вы можете серьезно разочароваться, обнаружив на «вещичке» грязные пятна, которых в магазине просто не было видно из-за соответствующего цветового оттенка освещения...

Как можно синтезировать цвета? Известно, что любой цвет можно получить смешением в соответствующей пропорции трех основных цветов. Например, многоцветье экрана телевизора или компьютерного монитора «вырастает» всего из трех цветовых тонов: красного (red, R), зеленого (green, G), синего (blue, B). Соответственно эта цветовая модель носит название RGB-модели. В полиграфии используется другая цветовая модель — CMYK (cyan-magenta-yellow и градация серого). Модель RGB используется в условиях излучаемого света, а модель CMYK — в условиях отраженного. Почему именно так, а не иначе, мы рассказывать не будем — это выходит за рамки темы данной книги. Для читателя наверняка будет интересным найти ответ на такой вопрос: сколько цветовых оттенков существует и сколько их может различить глаз? Теоретически таких оттенков существует бесконечное множество, поскольку бесконечно количество цветовых градаций, но человеческий глаз в состоянии различить порядка

10...12 миллионов оттенков — такова «разрешающая цветовая способность» глаза.

* * *

Еще раз взглянем на черную обложку книги и вспомним, что черная поверхность является наихудшим отражателем оптических волн. Световая волна просто поглощается ей, и чем «чернее» поверхность, тем меньше отражение. А существует ли предел этой «черноты»? Да, существует! В физике этот предел называется *абсолютно черным телом*. Такое тело поглощает всю падающую на него энергию электромагнитных волн любой длины, причем — при любой температуре его поверхности. «Абсолютно черное тело» не отражает волны, но может их излучать при нагревании, в том числе и в видимой части спектра. Характеристики излучения этого тела, в том числе спектральный состав излучения, зависят только от его температуры, и более ни от чего.

Заманчиво, не правда ли? Спешим разочаровать читателя: абсолютно черных поверхностей в природе не существует, поэтому в своих исследованиях физики пользуются их моделями. Отличной моделью в физических опытах служит, например, глухая коробка с отверстием. Отверстие пропустит электромагнитную волну, и далее она «запутается» внутри коробки.

Другая замечательная способность «абсолютно черного тела» — наилучшая излучающая способность. Другими словами, ни одно другое реальное тело, нагретое до той же температуры, что и «абсолютно черное тело», не сможет «выдать» в пространство больше энергии. О чем это говорит? Читатели, знакомые с электронной техникой, наверняка знают, что охладители мощных электронных компонентов (радиаторы) всегда стараются покрывать черным покрытием для улучшения теплоотдачи.

Нам понадобится также определение *серого тела*. Серое — отнюдь не означает, что его поверхность напоминает мышиную шкурку. «Серое тело» поглощает только часть падающей на него энергии электромагнитной волны, но характеристика поглощения равномерна во всем диапазоне длин волн. Если нагреть «серое тело» и «абсолютно черное тело» до одной и той же температуры, то спектральный состав электромагнитных волн, излучаемый ими, будет одинаков. Разница окажется только в масштабе: «абсолютно черное тело» будет излучать интенсивнее.

Установлено, что по максимуму мощности излучения в спектральной области можно с высокой точностью определить темпера-

туру «серого тела» и с некоторым незначительным допущением — для «абсолютно черного тела». Именно она и называется *цветовой температурой*. Эта температура совпадает с истинной температурой тела, а определяется в соответствии с законом смещения Вина:

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{\lambda_m}, \quad (1.3)$$

где T — цветовая температура «серого тела», °К;

λ_m — длина волны максимальной мощности излучения, м.

Удивительно, но наша «дневная звезда» Солнце, а также другие звезды — все это примеры практически «абсолютно черных тел», идеальных излучателей электромагнитных волн. Пользуясь формулой (1.3), была вычислена цветовая температура поверхности Солнца, которая составляет 5600 °К.

А можем ли мы решить обратную задачу — по цветовой температуре определить длину волны максимальной мощности излучения? Да, можем! Это делается с помощью все той же формулы (1.3), но для нас это не так важно. Гораздо важнее другое: по значению цветовой температуры, указанной для конкретного источника света, мы сможем оценить, насколько спектр излучаемого им света близок к спектру идеализированного источника излучения. Естественно, при условии, что закон распределения мощности излучения по спектру источника совпадает со спектральным распределением излучения «абсолютно черного тела», или, в крайнем случае, достаточно близок к нему. К счастью, большинство используемых на практике источников света обладают близкими к «абсолютно черному телу» законами распределения излучения, по крайней мере, в диапазоне видимого света. Но тогда возникает вопрос: почему они не разогреваются до высоких температур, свойственных «абсолютно черным телам»? Ответ прост: происходит лишь качественное повторение картины распределения излучения по длинам волн, конкретная же мощность излучения оказывается во многие разы меньше — источник представляет собой «серое тело».

В табл. 1.2 приведены значения цветовых температур для типичных источников светового излучения, используемых повсеместно. Они обычно маркируются на заводской упаковке и позволяют быстро определиться с нужным типом лампы в магазине электротоваров.

В дальнейшем, когда будем подробнее рассматривать конкретные источники света, мы вернемся к цветовой температуре. А пока

Таблица 1.2. Цветовые температуры различных источников света

Наименование источника света	Цветовая температура, °K
Пламя спички	1700
Пламя свечи	1200...1800
Лампа накаливания 75 Вт	2800
Лампа накаливания 100 Вт	2900
Лампа накаливания 200 Вт	3000
Маломощная галогенная лампа	2200...3000
Фотолампа накаливания	3400
Люминесцентная лампа	2700...6500
Ксеноновая лампа	5290
Фотографическая лампа-вспышка	6000
Металлогалогенная лампа	6000
Дневной свет	5600
Зимнее небо	7500
Экран компьютерного монитора	6500, 9300

продолжим разговор об «абсолютно черных телах» и изучим приведенный на рис. 1.7 график распределения мощности излучения в зависимости от его температуры. Хорошо видно, что с повышением цветовой температуры максимум смещается к УФ диапазону.

К сожалению, цветовая температура не может однозначно характеризовать источник света с точки зрения цветового восприятия. Чуть выше мы не случайно оговорились, что реальные источники света лишь до некоторой степени имитируют излучение «абсолютно черного тела». Степень этой близости, конечно, можно определить, измерив спектральное распределение излучаемой энергии. Но выполнить эту работу возможно в лабораторных условиях, пользуясь дорогостоящей специальной техникой. Понятно, что подавляющее большинство читателей книги воспользоваться такой лабораторией не смогут.

Почему так важно знать реальный характер спектрального распределения? Вспомните купленную в магазине рубашку, которая на солнечном свете покрылась пятнами, и все станет ясно: при искусственном освещении цвета были переданы недостоверно, что

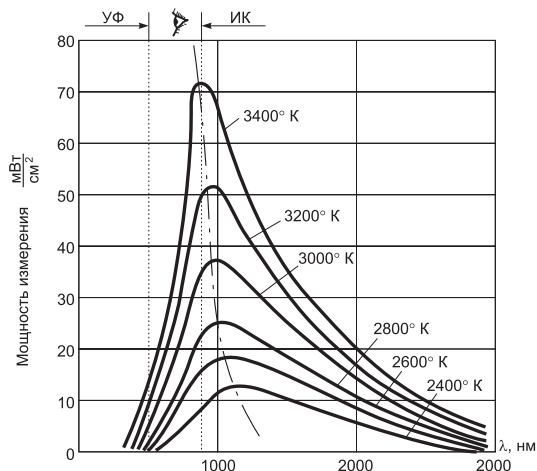


Рис. 1.7. Излучение «абсолютно черного тела»

и разочаровало впоследствии. Другими словами, источник света должен иметь такой спектр, который сможет правильно осуществить *цветопередачу* (естественно, при соответствующей цветовой температуре). Но наличие двух ламп с одинаковой цветовой температурой отнюдь не дает гарантию обеспечения одинаковой цветопередачи. Более того, не имея перед глазами образца правильной (эталонной) цветопередачи, невозможно сказать, какая из двух выбранных ламп в данном отношении «правильнее».

Учитывая сказанное, все серьезные производители источников света нормируют вместе с цветовой температурой еще и цветопередачу своих осветительных приборов. Как это делается? Поскольку спектр излучения обычной лампы накаливания близок к спектру излучения «абсолютно черного тела», в качестве эталона для оценки цветопередачи используют эту самую лампу накаливания (ее цветовая температура очень близка к реальной температуре спирали). К сожалению, даже эталонную лампу накаливания не удастся «раскачать» на цветовую температуру более 4000 °K, поэтому для оценки цветопередачи источников с более высокой цветовой температурой разработали эталонный источник света D65 с цветовой температурой 6500 °K, имитирующий небо, закрытое дождевыми облаками. Итак, запомните: для оценки цветопередачи ламп с цветовой температурой менее 4000 °K используют излучение «абсолютно черного тела», а с температурой более этого значения — эталонный источник D65.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. СВЕТ В ВАШЕМ ДОМЕ	7
1.1. Что такое это чудо — свет?	7
1.2. Не обойтись без фотометрии	24
1.3. Законы оптики в действии	38
1.4. Сколько люкс нужно для жизни?	41
1.5. Измеряем освещенность сами	47
1.6. Когда выручит компьютер	63
1.7. О светодизайне замолвим мы слово	73
Глава 2. СВЕТ И ЕГО ИСТОЧНИКИ	77
2.1. Как получают свет	77
2.2. Классика жанра: лампа накаливания	78
2.3. Шаг вперед: «галогенка»	84
2.4. Газоразрядная мозаика	95
2.5. Ксеноновый свет вашего автомобиля	103
2.6. Мир флуоресцентных ламп	106
2.7. Лампа на пятьдесят лет	113
2.8. Что рассказала картонная упаковка	116
2.9. Неофициально об официальном	118
Глава 3. ЭФФЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БАЛЛАСТЫ	123
3.1. Почему — электронный балласт?	123
3.2. Как устроен электронный балласт	131
3.3. Электронный балласт — за несколько минут	138

3.4. Электронный балласт своими руками	143
3.5. Можно ли отремонтировать электронный балласт?	162
Глава 4. ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ БУДУЩЕЕ	167
4.1. Сверхяркий луч светодиода	167
4.2. Лампа? Светодиод? Лампа-светодиод!	173
4.3. Светодиодное освещение своими руками	192
Глава 5. ЕСЛИ ЖИТЬ, ТО В «УМНОМ ДОМЕ»	205
5.1. Как поселиться в «умном доме»	205
5.2. DALI — сюрреализм света	209
Заключение	219
Литература	220