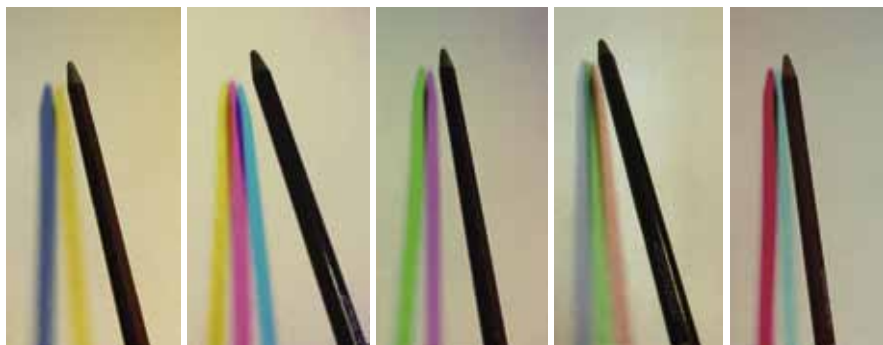




ЦВЕТНЫЕ ТЕНИ

Задача

В «Квантике» № 6 за 2015 год мы просили разобраться с тем, какого цвета получаются тени (фото 1–5) при освещении карандаша разными наборами цветов (а–д).



1

2

3

4

5



а)



б)



в)



г)



д)

Первым делом в голову приходит выбрать, не мудрствуя, тот ответ, на котором изображены в точности цвета теней с фотографии, благо при таком алгоритме каждому фото найдётся парная картинка. Но этот путь ведёт напрямик в ловушку, расставленную на небрежных читателей.

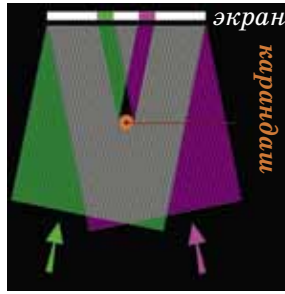
Если карандаш осветить, например, только красным фонарём, то тень получится уж точно не красная: ведь свет от красного фонаря на тень как раз не попадает! Так что краснее будет не тень, а, наоборот, остальной фон.

Решение

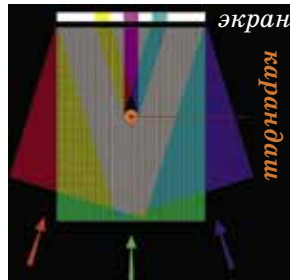
Проще всего разобраться с двуцветными примерами, например, когда есть зелёный и фиолетовый фонари. Тогда весь фон освещён обоими цветами, а каждая из теней – только одним (см. рис. на следующей странице). Так что на тень от зелёного фонаря светит только фиолетовый фонарь, и она будет фиолетовой. Аналогично, тень от фиолетового фонаря будет зелё-



ной. Те же рассуждения можно повторить в любом другом случае с двумя фонарями, и правильный ответ тут совпадает с результатом «бездумного тыка». Правда, мы убедились, что предположение «какого цвета фонарь, такого цвета и тень от него» неверно.



Перейдём к случаю с тремя фонарями – красным, зелёным и синим. Тут нас поджидает ловушка: тень от красного фонаря освещена и зелёным светом, и синим (рис. справа)! Дальше можно рассуждать так: вместе зелёное и синее освещения дадут что-то среднее – голубое, красный с синим дадут фиолетовый, а красный с зелёным – жёлтый. Тени получают совсем другого цвета, нежели фонари!



Правда, такой путь рассуждений не очень-то надёжен, если вы прикидываете смеси «на глаз». Гораздо убедительней такое соображение: на фото с жёлтой, фиолетовой и голубой тенью можно разглядеть цвета на пересечении *двух* теней. Эти пересечения красного и синего цветов. Каждое из них освещается только *одним* фонарём, а значит, среди фонарей есть красный и синий. Со второй тройкой этот приём работает плохо – по техническим причинам в грязных цветах сложно узнать жёлтый и голубой. Но у нас осталась только одна картинка и один набор цветов, да и соображения из предыдущего абзаца подтверждают, что они друг другу подходят.

Правда, такой путь рассуждений не очень-то надёжен, если вы прикидываете смеси «на глаз». Гораздо убедительней такое соображение: на фото с жёлтой, фиолетовой и голубой тенью можно разглядеть цвета на пересечении *двух* теней. Эти пересечения красного и синего цветов. Каждое из них освещается только *одним* фонарём, а значит, среди фонарей есть красный и синий. Со второй тройкой этот приём работает плохо – по техническим причинам в грязных цветах сложно узнать жёлтый и голубой. Но у нас осталась только одна картинка и один набор цветов, да и соображения из предыдущего абзаца подтверждают, что они друг другу подходят.

Теория

Это всё здорово, но такое решение оставляет неудовлетворённость. В задании имелись поблажки: комбинации фонарей были известны; а как найти их цвета только по фотографиям?

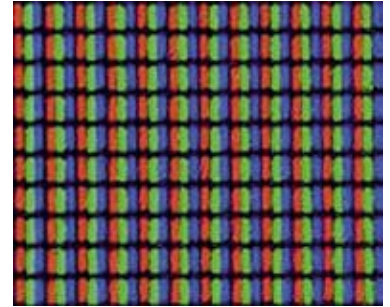
К тому же, мы видели все тени и их пересечения. А если на фото попадёт только одна из теней и фон рядом (как на фото справа) – как напрямую определить цвет фонаря, оставившего эту тень, по её цвету?





Всё освещение, кроме света от того фонаря, который мы хотим определить, назовём «засветкой». Тень карандаша освещает только засветка, а фон сбоку от тени освещён и фонарём, и засветкой. Таким образом, чтобы получить цвет фонаря, надо из фона «вычесть» засветку, то есть «вычесть» цвет тени. Что же это значит и как к такой задаче подойти?

Тут нужно объяснить, как мы вообще воспринимаем цвета. Вкратце дело обстоит так. В глазу есть три типа светочувствительных клеток: одни реагируют на оттенки красного, другие – зелёного, третьи – синего. Всё многообразие видимых оттенков получается из того, насколько сильно каждый из типов клеток возбуждён падающим на них светом. Это позволяет, например, использовать в мониторах пиксели только трёх цветов (см. фото справа). Меняя их яркость, можно получить большинство оттенков. Так что теперь мы можем закодировать цвет тремя числами: яркостью красных, зелёных и синих пикселей; обозначим эти числа R , G и B (от англ. red, green и blue). Этот способ кодирования кратко обозначается RGB .



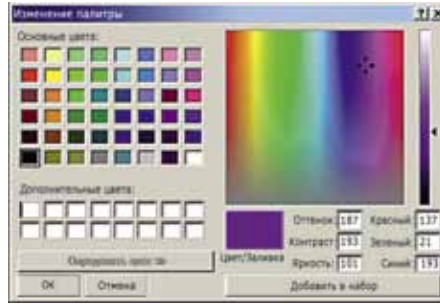
Фотография участка монитора крупным планом.

Имея на руках такое описание, уже легко складывать и вычитать цвета. Пусть, к примеру, цвет фона $(R_{\text{фон}}, G_{\text{фон}}, B_{\text{фон}})$, а цвет тени – $(R_{\text{тень}}, G_{\text{тень}}, B_{\text{тень}})$. Тогда легко найти цвет фонаря (R_x, G_x, B_x) . Напомним рассуждение: цвет фона складывается из цвета фонаря и цвета тени (который равен цвету засветки). Значит, $(R_{\text{фон}}, G_{\text{фон}}, B_{\text{фон}}) = (R_x, G_x, B_x) + (R_{\text{тень}}, G_{\text{тень}}, B_{\text{тень}})$, откуда $(R_x, G_x, B_x) = (R_{\text{фон}}, G_{\text{фон}}, B_{\text{фон}}) - (R_{\text{тень}}, G_{\text{тень}}, B_{\text{тень}})$, где сложение и вычитание производятся почленно, то есть $R_x = R_{\text{фон}} - R_{\text{тень}}$ и так же с G и B .

Практика

Мы разобрались, что значит «сложение» и «вычитание» цветов. Но чтобы решить задачу, нужно научиться на практике переводить цвет в тройку чисел и наоборот. Для картинок в электронном формате это

легко сделать с помощью компьютера. Откройте изображение в графическом редакторе (Paint'е, например). Инструментом «Пипетка» возьмите цвет интересующего участка фотографии. Затем в меню выберите «Палитра» ⇒ «Изменение палитры». В открывшемся окне вы увидите справа выбранный цвет и числа, соответствующие содержанию в нём красного, зелёного и синего. И наоборот, чтобы увидеть цвет, соответствующий данной тройке *RGB*, вбейте эти числа в те же поля, и вы увидите цвет, получающийся при такой комбинации. Только учтите, что Paint не обслуживает числа, большие 255.



С помощью той же программы легко повторить и сам опыт с цветными тенями. Для начала сделайте рисунок размером на весь экран, состоящий из полей ярких, насыщенных цветов, разделённых чёрным фоном, как на рисунке справа. Если в темноте поднести к экрану тот же карандаш, а позади него поставить лист бумаги, то карандаш отбросит на неё несколько теней, по одной от каждого цвета (рис. справа). Именно так были сделаны фотографии 1–5.

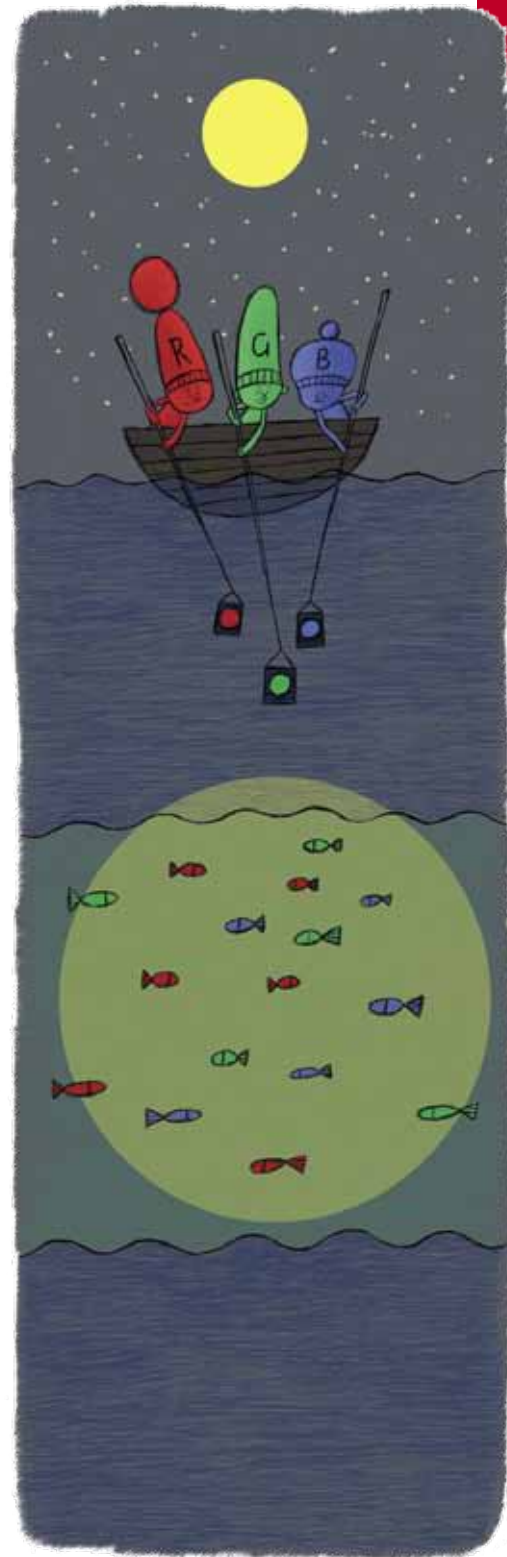


Наиболее насыщенными цветами теней получаются тогда, когда и освещение насыщенное. Идеальный вариант – когда присутствуют только цвета пикселей монитора. Поэтому полученные тени на фото 2 гораздо насыщенней, чем на фото 4, где использованы смеси базисных цветов по два.



Заключение

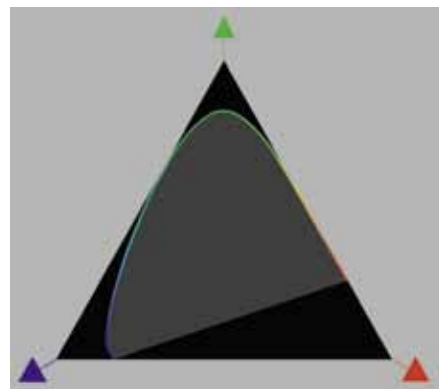
Описание цвета с помощью *RGB*-кодировки хоть и замечательно своей простотой и мощностью, но во многих смыслах неполно. Для начала, то, как мы воспринимаем цвет, зависит от освещения, контекста и других побочных обстоятельств. На такой необъективности глаза основывается множество оптических иллюзий.





Художник Инга Коржнева

Другая проблема интереснее и сложнее. Чтобы наглядно её объяснить, воспользуемся картинкой (рис. справа), изображающей *пространство оттенков*. Каждый оттенок помещается в большом (чёрном) треугольнике в какую-то точку, зависящую от того, в какой пропорции этот оттенок возбуждает три типа клеток: чем дальше точка от нижней стороны треугольника, тем сильнее отклик «зелёных» клеток, и так далее. Яркость при этом не учитывается – если взять оттенок в два раза ярче, точка получится та же самая, так как пропорции сохраняются.



Как мы писали в статье «Интерференция» в «Квантике» №1 за 2015 год, любой свет – это смесь чистых оттенков («цветов радуги»). Уложим эти чистые оттенки в наш треугольник в соответствии с тем, какие клетки и насколько возбуждаются составляющими его цветами. Мы получим кривую (радужная кривая на рисунке). Любой другой цвет – смесь чистых, и поэтому его точка расположится где-то в области, которую ограничивает радужная кривая. Только цвета из этой области (серая на рисунке) нам могут встретиться в жизни.

Получается интересная картина. Во-первых, на треугольнике остались чёрные области, которым не соответствует никакой цвет. На что бы мы ни смотрели, в такой пропорции клетки не возбуждятся.

Во-вторых, цвета пикселей дисплея тоже находятся внутри серой области, а вовсе не в вершинах чёрного треугольника. Дисплей, выдавая только комбинации этих цветов, покрывает лишь треугольник (цветной на рисунке справа). Этот треугольник, будучи внутри серой области, не может покрыть её целиком. Поэтому останутся оттенки, которые наш монитор выдать не сможет. В идеале у него должны быть пиксели с морем различных оттенков, которые «прослеживают» радужную кривую на рисунке, чтобы их комбинации покрыли почти всю серую фигуру. Но это сделать сложно, да и не очень-то нужно.

