

10. Исаченкова Л.А., Лещинский Ю.Д. Физика 9. — Мн.: Народная асвета, 2000.

11. Лассан В.Л. Измерение угловых скоростей. — М., 1970.

12. Оррир Дж. Популярная физика. — М.: Мир, 1964.

13. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. — М.: Наука, 1988.

## ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЦВЕТопЕРЕДАЧИ

Д.М. Жилин  
(г. Москва, L-Микро®)



Статья прошлого номера «Особенности цветового зрения человека» теоретически подготовила вас к самостоятельным исследованиям в данной области.

Глаз человека воспринимает огромное многообразие цветов и оттенков (глаз тренированного человека может различать больше двух миллионов оттенков). Трудно поверить, что такое богатство цветовосприятия обеспечивают всего лишь три вида цветовосприимчивых рецепторов, расположенных в сетчатке глаза и называемых колбочками.

Разобраться в том, как три типа клеток обеспечивают восприятие двух миллионов оттенков, можно проделав несколько несложных опытов. Для них потребуются регулируемые по силе источники синего, зеленого и красного света. Такие источники можно подобрать самостоятельно, а можно воспользоваться набором «Свет и цвет» из серии «Научные развлечения».

Для начала напомним, что свет — это электромагнитные волны. Длины волн видимого света находятся в диапазоне от 400 до 760 нм. Каждому цвету соответствует своя длина волны. Если свет содержит волны только одной длины волны, то такой свет называется монохроматическим или чистым. Монохроматический свет дает только лазер. Светодиоды излучают в узком диапазоне длин волн, поэтому их свет тоже достаточно чистый. Лампы накаливания, даже с цветными фильтрами, излучают в более широком диапазоне длин волн — их свет недостаточно чистый.

Бродя по улицам, вы наверняка видели светофоры на светодиодах. Красный свет таких светофоров соответствует длине волны 660 нм, желтый — 590, зеленый — 525 (рис. 1 а, б)\*.

Когда свет той или иной длины волны попадает на колбочки, он их тем самым раздражает. Степень раздражения зависит от длины волны. У каждого из трех типов колбочек (красночувствительных, зеленочувствительных и синечувствительных) своя зависимость чувствительности от длины волны (спектр чувствительности сетчатки представлен на рис. 2). В зависимости от относительного раздражения тех или иных колбочек глаз воспринимает свет как имеющий определенный цвет. Сетчатка глаза не просто воспринимает раздражения от попадающего на нее света, но и проводит их первичную переработку, поэтому сетчатку можно рассматривать как часть коры головного мозга. В результате мозг получает информацию о цвете и яркости света.

Глаз воспринимает свет как желтый, если красно- и зеленочувствительные рецепторы раздражаются примерно одинаково, а синечувствительные не раздражаются вовсе. Поэтому желтый свет можно получить сложени-

\* Иллюстрации к статье см. на 2—3 страницах обложки журнала.

ем красного и зеленого. Свет с длиной волны около 590 нм одинаково раздражает оба типа рецепторов, поэтому воспринимается глазом как желтый. Интересно, что человеческий глаз никогда не отличит монохромное излучение с длиной волны около 590 нм и смесь красного и зеленого монохромного излучения — они раздражают колбочки одинаково.

Аналогичное наложение зеленого и синего цветов дает голубой. Глаз воспринимает цвет как голубой, если зелено- и синечувствительные рецепторы раздражены примерно одинаково, а красочувствительные — значительно меньше. И в этом случае человеческий глаз не отличит свет с длиной волны 500 нм от света с длинами волн 525 и 475 нм.

Рассмотрим процесс получения различных цветов. Направив на белую поверхность лучи красного и зеленого света примерно одинаковой интенсивности, в месте их пересечения получим желтый цвет.

Наложением синего и красного лучей, например, получается пурпурный цвет. Если же одновременно наложить красный, желтый и зеленый лучи, то все рецепторы будут раздражаться одинаково. Мозг это воспринимает как белый цвет. Два цвета, которые при совмещении дают белый, называются дополнительными. Дополнительный цвет к красному — голубой, к зеленому — пурпурный, к синему — желтый. Можно заметить, что если некий цвет раздражает одну колбочку, то дополнительный к нему — две.

Самое интересное можно увидеть, если источники трех цветов расположены на некотором расстоянии друг от друга и их лучи направлены в одну область на белом экране. При внесении в лучи каких-либо предметов они будут отбрасывать на экран тень. Но тень от каждого источника будет в своем месте, поэтому тени будут перекрываться лишь частично (рис. 3).

Если в какую-то точку на экране падают тени от всех трех источников, тень будет серой. При попадании на экран только одного луча (красного, синего или зеленого) тень окрасится в соответствующий цвет. Если один из лучей закрыть, то цвет тени будет дополнительным к нему. При освещении

объекта сложной формы всеми тремя лучами (красным, зеленым и синим) тени дадут причудливую картину (рис. 4).

Регулируя относительную интенсивность источников красного, зеленого и желтого света, можно получить и другие оттенки. Именно на этом принципе основана RGB-модель цвета (от английского Red — красный, Green — зеленый, Blue — синий), которая используется в телевизорах и на экранах мониторов. Рассматривая белый монитор с помощью лупы, можно увидеть, что он на самом деле состоит из красных, синих и зеленых точек. Их относительная яркость дает разнообразные цвета на мониторе.

Все ли цвета могут быть воспроизведены на мониторе? Нет, не все. Это можно проиллюстрировать так называемой цветовой диаграммой (рис. 5). По осям этой диаграммы отложены соотношения основных цветов (зеленый/синий и зеленый/красный), подобранные так, чтобы область видимых цветов была выпуклой. На границе области лежат монохромные цвета с определенной длиной волны. Если взять два любых цвета на диаграмме, то на линии, соединяющей эти цвета, будут лежать все цвета, полученные их смешением в соответствующей пропорции. Соответственно, если взять три базовых цвета, то из них можно составить только те цвета, которые лежат в соответствующем треугольнике на цветовой диаграмме. Какие бы три базовых цвета мы не взяли, всегда останется область, лежащая за пределами треугольника (рис. 6).

Например, этот набор из чистых красного, зеленого и синего цветов не позволит воспроизвести фиолетовый цвет, так как его длина волны лежит за пределами длин волн базовых цветов. Поэтому ни на одном мониторе и ни на одном телевизоре невозможно корректно передать фиолетовый цвет. При фотографировании радуги в зависимости от чувствительности пленки или матрицы фотоаппарата, фиолетовый цвет будет передан синим, пурпурным либо не будет передан вовсе. Фиолетовый цвет, который должен находиться у ее левого края, при цветной печати не передается.

# ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ (к статье Д. М. Жилина)



Рис. 1а



Рис. 1б

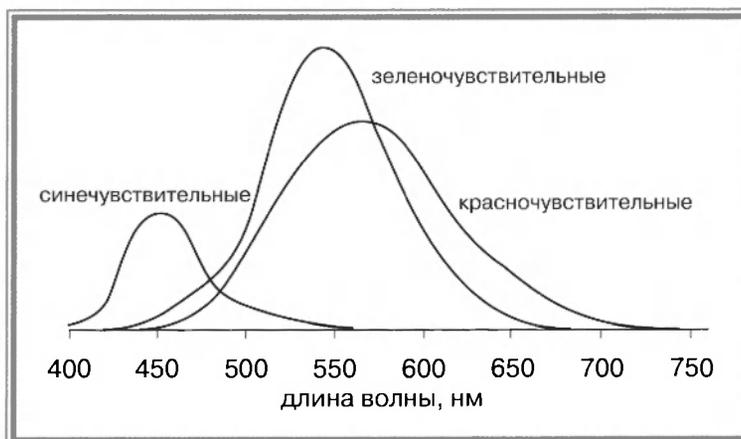


Рис. 2



Рис. 3

# ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ (к статье Д. М. Жилина)



Рис. 4



Рис. 7

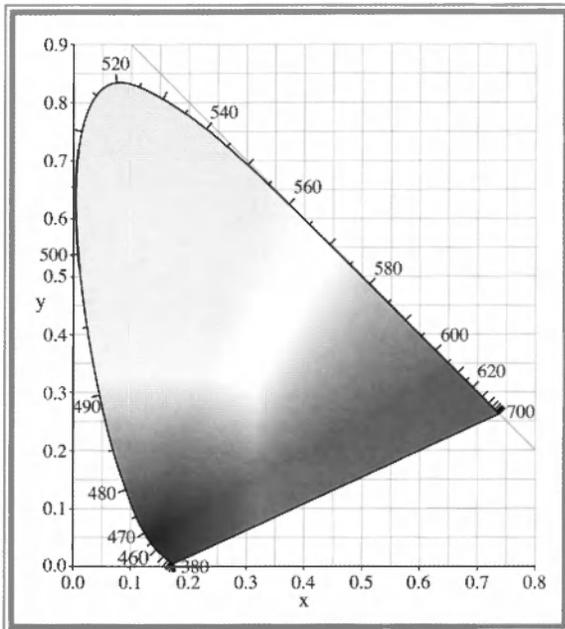


Рис. 5

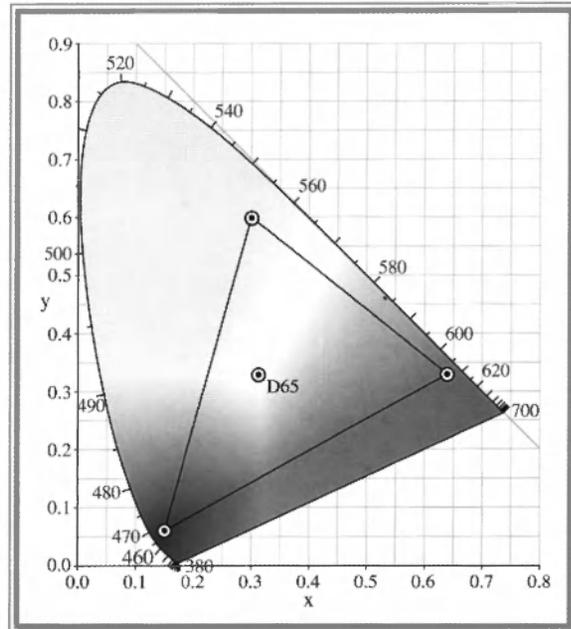


Рис. 6