

Н. Т. ФЕДОРОВ

ОБ ОДНОЙ ИЗ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ОБЛАСТИ  
ОДНОВРЕМЕННОГО ЦВЕТОВОГО КОНТРАСТА

(Представлено академиком Л. А. Орбели 3 V 1949)

В докладе на совещании по физиологической оптике в 1946 г. (1) мы на основании анализа полученного в нашей лаборатории экспериментального материала о различии контрастных и дополнительных цветов установили количественную связь между наблюдаемыми явлениями и 3 кривыми основных возбуждений нашего зрительного прибора.

Новый полученный нами (2,3) экспериментальный материал не только подтвердил эту связь, но и позволил, исходя из нее, объяснить некоторые другие явления из области цветового и светлотного контраста. Поэтому мне кажется возможным назвать эту установленную нами связь контрастных явлений с кривыми основных возбуждений одной из основных закономерностей одновременного цветового контраста.

Пусть координаты цвета реагирующего ахроматического фона, выраженные в терминах основных возбуждений  $R, G, B$ , будут:  $r_r = g_r = b_r$ , а координаты цвета окружения (цвета индуцирующего):  $r_i, g_i, b_i$ .

Мы полагаем, что координаты реагирующего цвета при наличии цвета индуцирующего уменьшаются и делаются равными:

$$r' = r_r - \beta r_i; \quad g' = g_r - \beta g_i; \quad b' = b_r - \beta b_i, \quad (1)$$

где  $\beta$  — некоторая постоянная величина меньше единицы.

Равенства (1) и выражают собою основную закономерность одновременного цветового контраста. Рассмотрим несколько следствий из нее.

Основной закон одновременного светлотного контраста как следствие более общей закономерности (1)

Из известной старой работы Гесса и Претори (4), работы Иенша и Мюллера (5) и более поздней и наиболее совершенной в методическом отношении работы П. А. Шеварева (6) следует, что при постоянной объективной яркости реагирующего фона изменение его яркости вследствие контраста ( $-\Delta L_r$ ) прямо пропорционально яркости индуцирующего цвета  $L_i$ , т. е. что

$$-\Delta L_r = k L_i. \quad (2)$$

Равенство (2) считается в настоящее время основным законом светлотного контраста (7-9).

Умножив равенства (1) на соответствующие яркостные коэффициенты  $l_r, l_g$  и  $l_b$  и сложив их почленно, мы получим:

$$l_r r' + l_g g' + l_b b' = l_r r_r + l_g g_r + l_b b_r - \beta (l_r r_i + l_g g_i + l_b b_i).$$

Обозначив  $l_r r' + l_g g' + l_b b'$  через  $L'$ ,  $l_r r_r + l_g g_r + l_b b_r$  через  $L_r$ , а  $l_r r_i + l_g g_i + l_b b_i$  через  $L_i$ , мы можем написать:  $L' = L_r - \beta L_i$  или

$$-\Delta L_r = \beta L_i. \quad (3)$$

Этот результат, совпадающий с формулой (2) и непосредственно вытекающий из наших уравнений (1), доказывает также правильность нашего предположения о постоянстве  $\beta$  в этих уравнениях. Более того, если бы  $\beta$  было различным для  $r, g$  и  $b$ , то мы не только не получили бы уравнения (3), но в случае контраста, вызываемого ахроматическим индуцирующим цветом, получали бы всегда, кроме изменений по светлоте, появление некоторого хроматизма в результирующем ахроматическом цвете, чего, как известно, не наблюдается.

Независимость интенсивности одновременного цветового контраста от цветового тона индуцирующего цвета

Эта независимость, эмпирически установленная нами (3), вытекает из равенств (1).

Обозначив координаты реагирующего ахроматического фона через  $a_r - b_r = c_r$ , а координаты индуцирующего цвета через  $a_i > b_i > c_i$ , мы можем написать, что в результате одновременного контраста координаты фона делаются равными:

$$\begin{aligned} a_r - \beta a_i &= w - \beta a_i = c_i', \\ b_r - \beta b_i &= w - \beta b_i = b_i', \\ c_r - \beta c_i &= w - \beta c_i = a_i'. \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначив  $w - \beta c_i$  через  $w'$ , мы можем написать уравнения (4) в таком виде:

$$\begin{aligned} w' - \beta (a_i - c_i) &= c_i', \\ w' - \beta (b_i - c_i) &= b_i', \\ w' &= a_i'. \end{aligned} \quad (5)$$

Из уравнений (5) мы видим, что в случае постоянства  $\beta$  при одинаковых значениях разностей  $(a_i - c_i)$  и  $(b_i - c_i)$ , определяющих долю чистых цветовых компонент в цвете индуцирующего фона, т. е. его насыщенность, совершенно независимо от цветового тона мы будем получать одинаковые по величине изменения координат ахроматического фона, т. е. одинаковый эффект цветового контраста.

Связь между контрастными и дополнительными цветами

В нашей статье (1) мы показали, что в то время, как цветовой тон цвета дополнительного к индуцирующему определяется выражением

$$\eta_d = \frac{\lg(a_i - c_i)}{\lg(a_i - b_i)}, \quad (6)$$

где  $a_i$  — наибольшая из цветовых координат индуцирующего цвета  $r_i, g_i, b_i$ ,  $b_i$  — средняя, а  $c_i$  — наименьшая, для цвета контрастного мы получаем, исходя из формулы (1), выражение:

$$\eta_k = \frac{\lg(a_i - c_i) - \delta}{\lg(a_i - b_i) - \delta}, \quad (7)$$

где  $\delta = -\lg \beta$ . Очевидно, что в общем случае  $\eta_d \neq \eta_k$ .

Функции  $\eta_k$  и  $\eta_d$  позволяют нам определить различие между контрастными и дополнительными цветами. Для этого мы строим графики  $\eta_d(\lambda_i)$  и  $\eta_k(\lambda_i)$ , причем в общем случае некоторой длине волны  $\lambda_i$  на них соответствуют неравные друг другу значения  $\eta_k$  и  $\eta_d$  (см. схематический рис. 1).

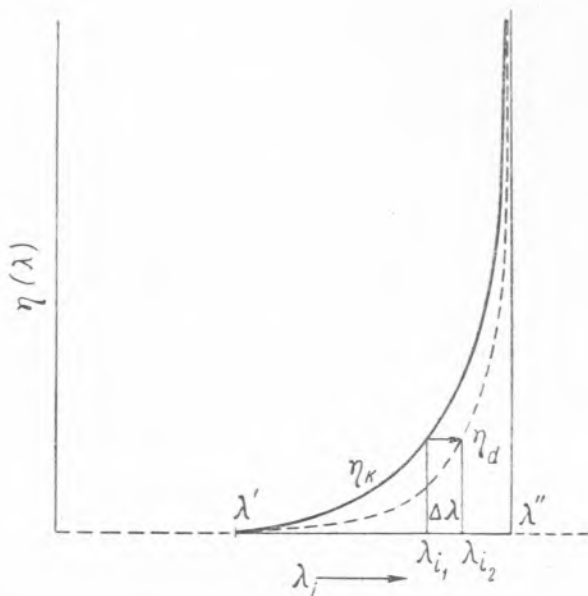


Рис. 1. Схема графического метода определения различий по цветовому тону контрастных цветов от дополнительных

Взяв какую-либо длину волны  $\lambda_i$  (рис. 1), мы находим соответствующие ей значения  $\eta_d(\lambda_i)$  и  $\eta_k(\lambda_i)$ . Проведя из вершины ординаты  $\eta_k(\lambda_i)$  прямую, параллельную оси абсцисс, находим ее пересечение с кривой  $\eta_d(\lambda_i)$  в некоторой точке  $\eta_d$ , которой на оси абсцисс будет соответствовать некоторая длина волны  $\lambda_i$ . Цветовой тон контрастного цвета будет, следовательно, дополнительным не к  $\lambda_i$ , но к несколько иной длине волны  $\lambda_i'$ . Для построения кривых  $\eta_d(\lambda)$  и  $\eta_k(\lambda)$  мы взяли кривые основных возбуждений  $R_y, G_y, B_y$ , полученные в 1939 г. Джеддом из кривых  $X, Y, Z$  и приведенные в нашей статье (1). Построив затем по цветовому графику для  $R_y, G_y, B_y$  обычную кривую дополнительных цветов, мы находим из нее длины волн цветов, дополнительных к  $\lambda_i$  и  $\lambda_i'$ , которые мы обозначим через  $\lambda_{доп}$  и  $\lambda_k$  и которые и будут характеризовать цветовой тон цвета дополнительного и цвета контрастного. Легко видеть, что цвета контрастные будут совпадать с дополнительными лишь в случаях, когда  $c_i = b_i$  или  $a_i = b_i$ .

В формулу (7) входит лишь одна постоянная  $\delta$ , которую при принятом нами масштабе для ординат кривых  $R_y, G_y, B_y$  мы положили равной единице. (При изменении масштаба кривых  $R_y, G_y, B_y$  будет,

разумеется, изменяться и  $\delta$ , однако очевидно, что значительные изменения этого масштаба влекут за собой незначительные изменения  $\delta$ ).

Совершенно так же мы строим кривую для области пурпурных контрастных цветов. В этом случае по оси абсцисс мы откладываем длины волн не контрастных цветов, но дополнительных к ним.

Участок кривой, соответствующий пурпурным индуцирующим цветам, был определен так, как изложено в статье (1).

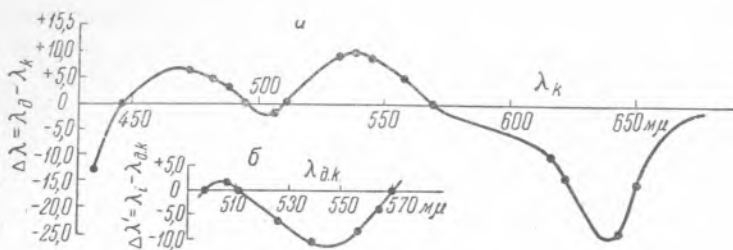


Рис. 2. Различия контрастных цветов от дополнительных, вычисленные по кривым основных возбуждений

Результаты вычислений изображены на рис. 2, где по оси абсцисс отложены длины волн цветов одновременного контраста (рис. 2,а) или длины волн цветов дополнительных к этим цветам для области пурпурных цветов (рис. 2,б). Мы видим, что контрастные цвета должны совпадать с дополнительными лишь в четырех точках спектра и в двух точках пурпурной области, как это и получается на опыте (1).

Военно-медицинская академия  
им. С. М. Кирова

Поступило  
3 V 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Т. Федоров, М. А. Юрьев, В. В. Скляревич и И. В. Введенская, Пробл. физиол. опт., **6**, 70 (1948). <sup>2</sup> Н. Т. Федоров, В. В. Скляревич, М. А. Юрьев и О. Ф. Маширова, ДАН, **67**, № 1 (1949). <sup>3</sup> Н. Т. Федоров, В. В. Скляревич и О. Ф. Маширова, ДАН, **67**, № 2 (1949). <sup>4</sup> С. Hess u. H. Pretori, Graef Arch., **40**, 1 (1894). <sup>5</sup> E. Jaensch u. E. Müller, Zs. f. Psychol., **83**, 266 (1920). <sup>6</sup> П. А. Шеварев, Уч. зап. Гос. ин-та психол., **1** (1940). <sup>7</sup> Б. М. Теплов, Сб. Зрительные ощущения и восприятия, 1935, стр. 11. <sup>8</sup> A. Tschermak, Erg. d. Physiol., **2**, 2 Abt., 726 (1903). <sup>9</sup> G. E. Müller, Ueber die Farbenempfindungen, 1930.