

ДИСКУССИИ

О КОНТРАСТНЫХ ЦВЕТАХ

М. С. СМЕРНОВ и М. М. БОНГАРД

Институт биологической физики АН СССР, Москва

В работах Н. Т. Федорова [1] и Н. Т. Федорова и сотрудников [2, 3] предлагаются формулы для координат цвета, возникающего благодаря контрасту:

$$\bar{r}' = \bar{r}_r - \beta \bar{r}_i, \quad \bar{g}' = \bar{g}_r - \beta \bar{g}_i, \quad \bar{b}' = \bar{b}_r - \beta \bar{b}_i, \quad (1)$$

где $\bar{r}_r, \bar{g}_r, \bar{b}_r$ — координаты цвета реагирующего поля в отсутствие индуцирующего окружения (на черном фоне), а $\bar{r}_i, \bar{g}_i, \bar{b}_i$ — координаты цвета индуцирующего фона (координаты берутся в основной физиологической системе координат); β — коэффициент, зависящий от величины и расположения полей и от отношения светлот реагирующего и индуцирующего цветов, причем всегда $0 < \beta < 1$. Справедливость этих формул уже априори вызывает сомнения, так как из них следует, что в некоторых случаях контрастный цвет должен иметь отрицательные координаты. Например, желтое поле ($\bar{b}_r = 0$) на синем фоне ($\bar{b}_i > 0$) должно иметь отрицательную синюю координату контрастного цвета ($\bar{b}' < 0$). Такой вывод чрезвычайно трудно истолковать, потому что в основной физиологической системе ни один цвет не может иметь отрицательных координат. Для цветового тона контрастного цвета η_{ik} , вызываемого на «белом» реагирующем поле, в рассматриваемых работах [1, 2, 3] на основе формул (1) выводится выражение:

$$\eta_{ik} = \frac{\lg(\bar{a}_i - \bar{c}_i) - \delta}{\lg(\bar{a}_i - \bar{b}_i) - \delta}, \quad (2)$$

где $\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i$ — большая, средняя и меньшая из величин $\bar{r}_i, \bar{g}_i, \bar{b}_i$, а $\delta = -\lg \beta$. Таким образом, δ , а значит, и η_{ik} зависит от отношения светлот реагирующего и индуцирующего цветов.

При этом используется еще одно произвольное допущение, а именно, что цветовой тон цвета с координатами $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ может быть охарактеризован соотношением

$$\eta = \frac{\lg(\bar{a} - \bar{c})}{\lg(\bar{b} - \bar{c})} \quad (3)$$

Н. Т. Федоров использует формулу (2) для определения кривых «основных возбуждений» глаза [4]. Это можно было бы делать лишь

* В отличие от Н. Т. Федорова мы считаем, что формула, в которую входят логарифмы от размерных величин (как и всякая формула, в которой нарушено правило размерностей), не может иметь теоретического интереса. Однако этот вопрос в настоящей работе подробно не рассматривается, так как она посвящена несоответствию теории Н. Т. Федорова опыту, а не ее внутренней противоречивости.

при условии, что формулы (1) и (2) действительно выражают закономерности явлений контраста. Справедливость формул (1) и (2) проверялась автором лишь для одной узкой области возможных условий эксперимента. В частности, реагирующее и индуцирующее поля брались лишь равной светлоты, реагирующее поле всегда было белым.

Мы попытались выяснить, насколько общие закономерности выражаются формулами (2) и (1). Наши представления о природе одновременного контраста заставляли нас ожидать весьма больших отклонений от предсказаний теории Н. Т. Федорова. Поэтому мы применяли примитивный прибор, дающий, однако, возможность наблюдать контрастные цвета большой насыщенности, что облегчало их оценку.

Вертикальный разрез прибора представлен на рисунке. В передней стенке ящика Я имеется круглое отверстие. Передняя стенка ящика снаружи и стенки 1, 2, 3 изнутри — белые. Стенка 4 и перегородка 5 — черные. Опыт ведется в затемненной комнате. Внутренность ящика освещается отраженным от нижней части стенки 3 светом лампы накаливания L_2 (8 в, 20 вт). Передняя стенка

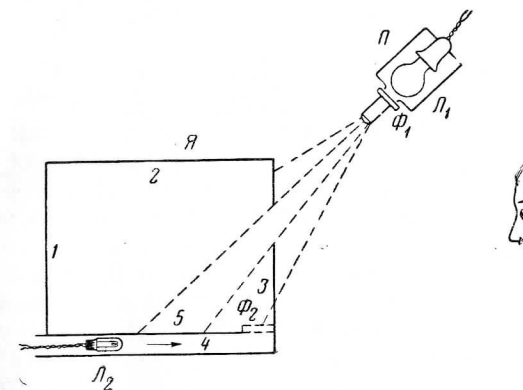


Рис.

ящика снаружи освещается светом проекционного фонаря с перекальной матовой фотолампой L_1 (127 в, 275 вт), проходящим через светофильтр Φ_1 . Наблюдатель видит освещенную цветным светом переднюю поверхность ящика (индуцирующее поле) и на этом фоне через отверстие — часть белой поверхности стенки 1 (реагирующее поле). Перемещением лампы L_2 в направлении, указанном на рисунке, можно изменять яркость, а выбором фильтра Φ_2 цвет реагирующего поля.

Вследствие контраста объективно белая поверхность 1 казалась наблюдателю цветной. Собственно эксперимент заключался в том, что наблюдатель оценивал цветовой тон этого контрастного цвета при различных яркостях реагирующего поля. В наших опытах участвовало 8 опытных наблюдателей с нормальным цветовым зрением. Для всех наблюдателей кажущийся цветовой тон поверхности 1 изменялся при изменении ее яркости. Приводим результаты опытов:

Цвет фильтра Φ_1	Контрастные цвета, видимые наблюдателем (в порядке увеличения яркости реагирующего поля)
Оранжевый	Глубокий синий. Голубой. Зеленый. Желто-зеленый. Белый
Желто-зеленый	Фиолетовый. Пурпурный. Розово-пурпурный
Пурпурный	Зеленый. Желто-зеленый. Желтый. Оранжево-желтый
Синий	Оранжево-красный. Желто-оранжевый. Желтый

Примечание. Нами применялись светофильтры Шотта: оранжевый — OG-3, желто-зеленый — VG-7, пурпурный — UG-5, синий — BG-28 + BG-23

Изменения цветового тона были так хорошо заметны, что мы не требовали от наблюдателей более точной оценки видимого цвета, так как

добивались только качественного результата. Обратим внимание на то, что речь идет об изменениях цвета, соответствующих изменению длины волны на десятки $m\mu$ (иногда около 100 $m\mu$). Насколько нам известно, такого рода наблюдения еще никем не были опубликованы.

Такие результаты получались и при фиксации взгляда наблюдателей и при свободном рассматривании. Вариации видимого углового диаметра реагирующего поля от 0,5 до 15° также не оказали существенного влияния — цветовой тон контрастного цвета резко менялся при изменении яркости реагирующего поля. Из этих опытов следует, что закономерности явлений контраста сложнее, чем это предполагается в рассматриваемых работах [1, 2, 3]. Действительно, из формулы (2) следует, что некоторые «особые» индуцирующие цвета должны вызывать на белом реагирующем поле цветовые тона, не изменяющиеся при изменениях яркости реагирующего поля. «Особыми» цветами должны быть все те, для которых $a_i = \bar{b}_i$ или $\bar{b}_i = c_i$, так как в этих случаях η_k равно 0 или 1 независимо от значения δ . Эти особые цвета, по определениям самого Н. Т. Федорова [2, 3], суть те, которые лежат в цветовом графике на одной из трех прямых, проходящих через «белую» точку и пересекающих линию спектральных цветов близко к точкам $\lambda = 497, 510, 571 m\mu$. Из формулы (2) следует далее (как замечает и Н. Т. Федоров [5]), что если некоторый индуцирующий цвет вызвал «особый» цветовой тон, то никакие изменения яркости белого реагирующего поля не должны влиять на этот вызванный по контрасту цветовой тон. Опыт противоречит этому следствию теории. Например, одно и то же оранжевое поле может вызывать на белом* реагирующем поле цветовые тона, соответствующие любой длине волны короче $\lambda = 550 m\mu$; при этом контрастный цвет проходит по крайней мере через два «особых» ($\lambda = 497$ и $510 m\mu$) цвета.

Таким образом, если варьировать отношение яркостей индуцирующего и реагирующего полей, то происходящие при этом весьма значительные изменения контрастного цветового тона, безусловно, нельзя примирить с формулой (2), т. е. она не выражает общего закона.

Значит ли это, что неверны также и формулы (1), выражающие, по Н. Т. Федорову [1, 2, 3, 5], «наиболее общий закон цветового и светлотного контраста»? Нет, так как вывод формулы (2) основан не только на формулах (1), но и на сомнительной формуле (3).

Вопрос о справедливости формул (1) удалось решить следующим образом. Все исследователи согласны с тем, что «синий» приемник практически не возбуждается светом из дихроматического красно-зеленого участка спектра. Поэтому, если индуцирующий и реагирующий цвета содержат лишь длины волн с $\lambda > 540 m\mu$, то $\bar{b}_r = \bar{b}_i = 0$. Формулы (1) в этом случае дают $\bar{b}' = 0$ независимо от величины β , т. е. контрастный цвет не должен содержать синего, а должен лежать также на прямолинейной участке линии спектральных цветов в цветовом графике. Это прямое следствие формул (1) мы проверили экспериментально.

Исследовалось влияние красного индуцирующего поля ($\lambda > 640 m\mu$) на желтое реагирующее. Для этого был взят фильтр Φ_2 , пропускающий лишь область $565 m\mu < \lambda < 610 m\mu$. Ни индуцирующий, ни реагирующий цвета не содержали длин волн короче $\lambda = 565 m\mu$. Опыт показал, что, варьируя яркости красного индуцирующего и желтого реагирующего полей, можно получить любой контрастный цвет от желтого до насыщенного синего.

* Цветовой тон контрастного цвета, разумеется, несколько зависит от выбора «белого». Н. Т. Федоров считает истинно белым только цвет излучения с равномерным распределением энергии по длинам волны. Мы испытывали различные цвета реагирующего поля в весьма широкой области вокруг равноэнергетического. Результаты, описанные в табл. 1, относятся к любому реагирующему полю, которое испытываемый согласен признать «белым», рассматривая его на черном фоне.

Этот примитивный опыт сразу показывает, что формулы (1) не верны. Кроме того, из него следует, что явления одновременного контраста не удастся втиснуть ни в одну из схем, сводящих все дело к изменениям чувствительности приемников.

В связи с этим лишаются основания и дальнейшие построения теории Н. Т. Федорова [1, 2, 3], по которой «особые точки» спектра отождествляются с абсциссами «точек пересечения» кривых спектральной чувствительности приемников глаза и дают якобы возможность вычислить эти кривые [4].

Мы уже указывали [6], что положение «точек пересечения» кривых спектральной чувствительности изменяется с изменением нормировки этих кривых. Поскольку невозможно указать какой-либо преимущественный способ нормировки*, введение понятия «точка пересечения кривых чувствительности» становится мало плодотворным. В настоящей же работе показано, что не только теоретические, но и экспериментальные основы работ Н. Т. Федорова [1—4, 7] содержат серьезные ошибки. Это полностью лишает смысла полученные им кривые спектральной чувствительности приемников глаза.

Поступила в редакцию
20. XII. 1955

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров Н. Т. ДАН, 67, 3, 1949.
2. Федоров Н. Т., Юрьев М. А., Скляревич В. В. и Введенская И. В. Пробл. физиол. опт., 6, 70, 1948.
3. Федоров Н. Т., Скляревич В. В., Юрьев М. А. и Маширова О. Ф. Пробл. физиол. опт., 8, 75, 1953.
4. Федоров Н. Т., Юрьев М. А., Скляревич В. В. и Маширова О. Ф., Пробл. физиол. опт., 8, 99, 1953.
5. Четвертое совещание по физиологической оптике. Тезисы докладов, стр. 109, 1955.
6. Бонгард М. М. и Смирнов М. С. ДАН, 102, 6, 1955.
7. Федоров Н. Т., Скляревич В. В., Юрьев М. А. и Маширова О. Ф. ДАН, 67, 1, 1949.

* Н. Т. Федоров нормирует кривые так, что они охватывают равные площади. Ничуть не менее обоснованной будет, например, нормировка, при которой кривые охватывают площади, пропорциональные соответствующим яркостным коэффициентам и т. п.