

Н. Д. НЮБЕРГ

## НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЦВЕТОВ ИЗ ОПЫТОВ С ЦВЕТНОСЛЕПЫМИ

*(Представлено академиком С. И. Вавиловым 9 X 1948)*

Одной из важных задач изучения цветного зрения является определение так называемых основных физиологических осей цветового пространства, или, что то же, положения основных физиологических цветов в цветовом треугольнике. Для этой цели обычно использовались опыты над дихроматами, из которых первые были проведены Кенигом<sup>(1)</sup>. Впоследствии аналогичные опыты проводились рядом других исследователей. В последнее время особое внимание привлекли к себе опыты, проведенные Питтом<sup>(2)</sup>, и обработка этих данных, сделанная Джеддом<sup>(3)</sup>. В этой последней работе сделаны выводы, довольно сильно отличающиеся от прежних, что указывает на недостаточность имеющихся экспериментальных данных для окончательного решения вопроса. Это, как нам кажется, частично связано с применявшейся до сих пор методикой.

Метод решения задачи, применявшийся до сих пор, основан на том, что цвета, не различимые дихроматом, располагаются в цветовом треугольнике на прямых линиях, которые все должны сходиться в одной точке. Эта точка и является искомой. Поэтому для одного определения искомой точки надо экспериментально найти по крайней мере две различные пары неразличимых дихроматом цветов. Каждая из пар определяет в треугольнике прямую. Пересечение этих двух прямых дает искомую точку. Разумеется, на практике строят целый пучок таких прямых и так или иначе усредняют результаты.

Несмотря на широкую распространенность этого метода, он является несовершенным, так как неполностью использует данные, которые могут быть извлечены из эксперимента. В цветовом треугольнике, как известно, находят свое выражение только цветности цветов, уравниваемых дихроматом, и совершенно не учитываются соотношения их яркостей. Между тем, эти соотношения крайне характерны. Так, цвета дихроматического участка спектра (например, красный 700 м $\mu$  и желтый 570 м $\mu$ ) уравниваются и протанопами и дейтеранопами, однако, чтобы уравнивать с красным той же яркости, дейтераноп должен взять желтый гораздо более яркий, чем протаноп. Эти соотношения яркостей совершенно не используются при работе по описанному методу.

Данные опыта будут использованы значительно полнее, если взять полные характеристики цвета, т. е. рассматривать цвета как векторы трех измерений, каковыми они и являются. В этом случае, как легко видеть, разность любых двух цветов, не различимых дихроматом, представляет собой всегда цветовой вектор, параллельный искомой оси. Компоненты, определяющие направление искомой оси (или поло-

жение искомой точки в треугольнике), относятся, таким образом, как разности абсолютных компонент любой пары цветов, не различимых дихроматом.

Эксперимент может быть проведен на любом трехцветном колориметре, в котором отсчеты по трем шкалам пропорциональны яркостям, в каких три основных цвета прибора участвуют в смеси в поле сравнения. Работа может проводиться, например, так. В поле объекта устанавливается какой-либо цвет, который уравнивается дихроматом. Полученные при этом отсчеты по трем шкалам прибора обозначим через  $a_1, b_1, c_1$ . После этого ведущий эксперимент резко изменяет установку по той из шкал, которая соответствует цвету прибора, наиболее близкого к недостающему у дихромата, т. е. для протанона изменяют отсчет по красной шкале, для дейтеранона по зеленой. Пусть, таким образом, отсчет  $a_1$  заменен на  $a_2$ . Равенство при этом нарушится и для дихромата, и ему предлагается его восстановить, изменяя два другие отсчета, но не трогая  $a_2$ . Пусть это новое равенство достигнуто при отсчетах по шкалам прибора  $a_2, b_2, c_2$ . образуем разности:

$$\Delta a = a_1 - a_2, \quad \Delta b = b_1 - b_2, \quad \Delta c = c_1 - c_2.$$

Полученные таким путем величины (из которых, по крайней мере, одна всегда будет отрицательна)  $\Delta a, \Delta b, \Delta c$  представляют собой компоненты искомого основного цвета, эквивалентные тому, как если бы мы их получили непосредственным измерением искомого основного цвета на данном приборе. Абсолютная ошибка при этом не будет превышать суммы ошибок при двух проведенных обычных колориметрических измерениях. От величин  $\Delta a, \Delta b, \Delta c$  можно перейти к международной системе или к отысканию положения точки в треугольнике точно так же, как это делается для результатов обычных измерений.

Как видно из изложенного, при работе по предлагаемому способу для одного определения искомой оси достаточно найти одну пару не различимых дихроматом цветов вместо двух пар по старому способу. Это различие можно проиллюстрировать в треугольнике. По старому способу цветности двух неразличимых цветов определяют прямую, на которой где-то лежит искомый основной. Если учитывать полные характеристики этих цветов, то их надо рассматривать как размещенные в плоскости треугольника грузы, равные сумме абсолютных координат соответствующих цветов. Искомая точка есть точка приложения равнодействующей соответствующих двух сил, из которых одну надо взять со знаком минус. Таким образом, учет полных цветных характеристик дает не только прямую, но и положение на ней искомой точки. Этот барицентрический способ построения, как легко видеть, эквивалентен описанному выше векторному.

Предлагаемый способ представляет по сравнению со старым значительные преимущества, и не только в том, что позволяет с меньшей затратой труда получить более обильный материал, но и вследствие его большей точности. При работе по старому способу приходится отыскивать точку пересечения прямых. Для получения более точных результатов необходимо, во-первых, иметь возможно более длинные отрезки прямых, чтобы точнее определить их направление, а с другой стороны, надо иметь прямые возможно более удаленные друг от друга, так как для двух близких прямых малые ошибки в определении направления влекут большие ошибки в положении точки пересечения. Это обстоятельство особенно затрудняет определение положения точки  $G$ . Для дейтеранона эксперимент дает более или менее длинные отрезки прямых в треугольнике только вблизи длинноволно-

вой части графика. В коротковолновой отрезки очень коротки и их направление определяется неточно. Поэтому для нахождения точки пересечения нет возможности выбрать две прямые, достаточно удаленные друг от друга, направление которых было бы определено надежно.

Характерно, что Джедд при обработке данных Питта (см. рис. 1 в <sup>(3)</sup>) вообще не считался с направлением прямых в синей области — настолько, видимо, считал их ненадежными. Поэтому выводы Джедда относительно положения точки *G* следует скорей считать результатом теоретических соображений, а не экспериментальными данными. Предлагаемый метод позволяет выбирать такие не различные дихроматом пары, для которых вектор разности определяется с наибольшей точностью.

Кроме этого, следует заметить, что у дихроматов могут встречаться отклонения, вызванные, например, пигментацией глазных сред. От этого страдает более всего синяя часть спектра. Старый способ вынужден использовать далеко отстоящие пары, и аномалии указанного типа будут искажать результат. Предлагаемый же способ позволяет вести эксперименты в той цветовой области, в которой дихромат принимает равенства нормального трихромата.

Наконец, когда из серии опытов положение искомой оси определено, небольшое видоизменение предлагаемого метода позволяет произвести проверку. Для этой цели ведущий предъявляет дихроматам поля таких цветов, чтобы компоненты вектора разности (разности отсчетов по шкалам) были пропорциональны компонентам найденной оси. Если ось найдена правильно, все такие равенства должны приниматься всеми дихроматами соответствующего типа. Этот опыт позволит использовать таких испытуемых, которые сами плохо колориметрируют. Проведенные по этому способу эксперименты вполне подтвердили высказанные здесь теоретические соображения.

Поступило  
13 IX 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. König, *Gesammelte Abhandlungen*, Leipzig, 1903.   <sup>2</sup> F. H. G. Pitt, *Medical Research Council, Special Report Series*, No. 200, London (1935).   <sup>3</sup> D. B. Judd, *J. Opt. Soc. Am.*, 35, No. 3 (1945).