

Н. Д. НЮБЕРГ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ЦВЕТОВОМ ТРЕУГОЛЬНИКЕ ОСНОВНОГО СИНЕГО ЦВЕТА

*(Представлено академиком С. И. Вавиловым 20 I 1949)*

Проблема нахождения так называемых основных физиологических осей в цветовом пространстве, или положения основных цветов в цветовом треугольнике, разрешается обычно с помощью опытов над цветнослепыми. Этим путем удается довольно хорошо определить положение красной и зеленой осей. Однако вследствие крайней редкости тританопии, не осложненной другими аномалиями зрения, положение синей оси определяется из аналогичных экспериментов мало надежно. В настоящей статье мы изложим поэтому некоторые соображения, которые позволяют с большой долей вероятности определить положение синей оси, когда положение двух других известно.

Для этой цели мы выдвинем два допущения, справедливость которых представляется нам весьма вероятной:

1°. Ординаты кривых сложения, рассчитанных для основных физиологических цветов, нигде не отрицательны (не меняют знака с длиной волны).

2°. Яркостные коэффициенты в трехцветной системе основных физиологических цветов не отрицательны.

В пользу первого допущения говорит следующее. В настоящее время почти не приходится сомневаться, что кривые сложения, рассчитанные относительно основных физиологических цветов, представляют собой кривые спектральной чувствительности тех трех реально существующих в глазу рецепторов, в которых происходят превращения лучистой энергии, служащие исходным пунктом зрительного процесса. В химии, физике и биологии приходится часто встречаться с весьма разнообразными процессами превращения лучистой энергии. Каждый из этих процессов характеризуется определенной кривой спектральной чувствительности, но нет ни одного случая, когда бы чувствительность меняла свой знак с длиной волны. Кривые спектральной чувствительности знака никогда не меняют. Допущение 1° распространяет это правило и на приемники глаза.

Экспериментальные основания второго допущения следующие. Если основные цвета какой-либо трехцветной системы реально осуществимы, то яркостные коэффициенты в ней представляют собой яркости единичных цветов системы, а потому всегда положительны. Основные физиологические цвета не являются осуществимыми в нормальных условиях наблюдения. Однако их нельзя считать принципиально неосуществимыми, так как изолированное возбуждение только одного из рецепторов в принципе безусловно возможно. Применяя предварительную цветовую адаптацию, как это, например, делал

Н. Т. Федоров (1), можно, повидимому, подойти довольно близко к изолированному возбуждению отдельных приемников. Еще легче это осуществимо для цветнослепых. Отказ от допущения 2° немедленно приводит к парадоксальным выводам, осуществление которых почти невозможно себе представить (цвет отрицательной яркости, убывание видимой яркости при возрастании возбуждения). Эксперименты, позволяющие приблизиться к изолированному возбуждению приемников, не дают никаких оснований предполагать возможность подобных явлений. Таким образом, хотя положение 2° является экстраполяцией, но в законности ее пока нет оснований сомневаться.

Высказанные нами допущения нередко фигурируют в неявном виде или как положения очевидные. Мы придали им более отчетливую форму и привели обоснования, чтобы показать, что они не являются плодом чистого умозрения, а опираются на большой экспериментальный материал.

В пространственной геометрической интерпретации наши допущения принимают следующий вид:

А. Плоскости, проходящие через основные оси, не должны пересекать конус спектральных цветов.

В. Положительные направления всех трех осей и векторы спектральных цветов находятся по одну и ту же сторону от „плоскости нулевых яркостей“ (алихны),

Несколько сложнее обстоит дело с геометрической интерпретацией положения 2° в цветовом треугольнике. Положение 1° интерпретируется так:

А'. Прямые, проходящие через основные цвета, не должны пересекать линию спектральных цветов.

Что касается 2°, то необходимо различать два случая. Как известно, цветовой треугольник представляет собой центральную проекцию цветового пространства на плоскость из черной точки, так что каждый цветовой вектор пространства изображается в плоскости проекций точкой пересечения этого вектора или его продолжения с плоскостью проекций. При произвольном взаимном положении плоскости и вектора может случиться, что положительное направление вектора вообще не пересечется с данной плоскостью. Такой вектор изобразится точкой, где плоскость пересекается с продолжением вектора в обратную сторону. Чтобы различать этот случай, мы будем отмечать такие точки знаком — (минус).

Плоскости всех применявшихся цветовых треугольников всегда выбирались так, чтобы они пересекали коническую область реальных цветов (цветовой конус). Поэтому положительные направления векторов реальных цветов всегда пересекаются с плоскостями всех применявшихся треугольников. Но это правило может и не быть верным для векторов, лежащих вне спектрального конуса, к каковым относятся основные физиологические цвета.

В частности, как показывают хотя бы данные Питта (2) и их обработка Джеддом (3) или Боума (4), плоскость стандартного треугольника  $XYZ$  пересекает не положительное, а отрицательное направление оси  $G$ . Наоборот, плоскость равнобедренного треугольника, которым пользовался Кениг (5), пересекает ее положительное направление. В соответствии с этим цвета длинноволновой части спектра лежат в треугольнике Кенига между точками  $+R$  и  $+G$ , а в треугольнике  $XYZ$  точка  $+R$  лежит между красными цветами спектра и точкой  $-G$ .

На рис. 1 показано взаимное расположение в пространстве осей  $XYZ$ ,  $RGB$ , конуса спектральных цветов и плоскостей треугольника  $XYZ$  и треугольника Кенига  $R'G'B'$  (последний показан пунктиром).

В соответствии с этим геометрическая формулировка положения 2° представится в двух видах в зависимости от того, пересекает ли плоскость треугольника положительное или отрицательное направление оси. Кроме того, придется прибавить геометрический критерий  $S$ , позволяющий различать эти два случая. Таким образом, в случае пересечения с положительным направлением оси будем иметь:

$V'$ . Точка соответствующего основного цвета и линия спектральных цветов лежат по одну сторону от алихны.

$S'$ . Точка соответствующего основного цвета и линия спектральных цветов лежат по одну и ту же сторону от прямой, проведенной через точки двух других основных цветов.

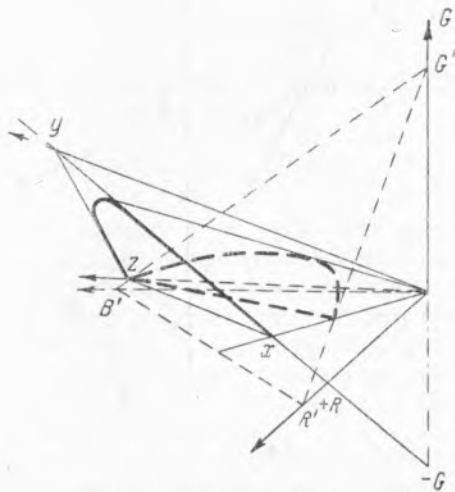


Рис. 1

В случае пересечения отрицательного направления оси с плоскостью треугольника должны соблюдаться условия:

$V''$ . Точка основного цвета и спектральная кривая лежат по разные стороны от алихны.

$S''$ . Они лежат по разные стороны от прямой, соединяющей точки двух других основных цветов\*.

Пользуясь высказанными положениями, нетрудно, зная положение в треугольнике точек  $R$  и  $G$  (независимо от их знака), найти довольно точно положение точки  $+B$  или  $-B$ .

Проведем (рис. 2) в плоскости треугольника следующие четыре прямые: алихну  $AA'$ , прямую  $MM'$ , касательную к линии спектральных цветов из точки  $R$ , прямую  $NN'$ , касательную из точки  $G$ , и прямую  $PP'$ , проходящую через  $R$  и  $G$  и также касающуюся линии спектральных цветов, так как мы считаем, что  $R$  и  $G$  лежат на прямой  $z=0$  (это, впрочем, не обязательно для нашего построения, хотя и упрощает его).

В силу положения  $A'$  ни точка  $+B$ , ни точка  $-B$  не могут лежать внутри вертикальных углов  $MRP$  и  $M'RP'$ , образованных прямыми  $MM'$  и  $PP'$ , а также внутри вертикальных углов  $NGP$  и  $N'GP'$ , образованных прямыми  $NN'$  и  $PP'$ . Кроме того, точка  $+B$  в силу условия  $V'$  должна лежать выше алихны  $AA'$  и в силу условия  $S'$  — левее прямой  $PP'$ . Всем этим ограничениям удовлетворяют только точки внутри или на сторонах небольшого треугольника  $UVW$ , образованного прямыми  $AA'$ ,  $MM'$  и  $NN'$ .

\* Как в случае  $V'$ , так и в случае  $V''$  основной цвет может лежать на алихне.

Аналогично заключаем из  $B''$  и  $C''$ , что точка  $-B$  может лежать только ниже алихны и правее прямой  $PP'$ . Но это означает, что точка  $-B$  лежит внутри угла  $MRP$ , что противоречит условию  $A'$ .

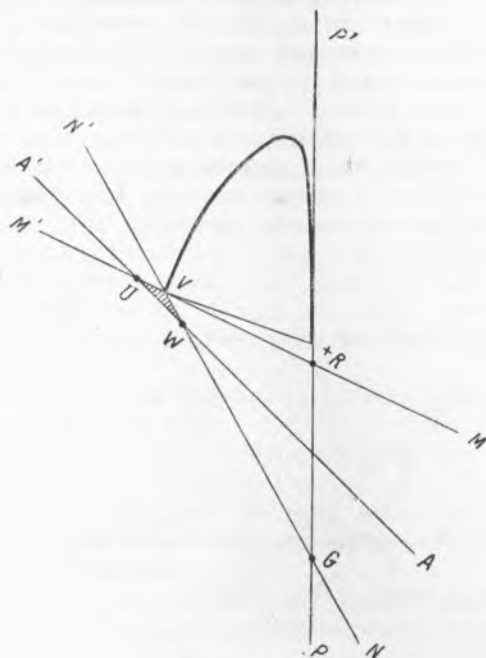


Рис. 2

Таким образом, мы видим, что плоскость треугольника  $XYZ$  пересекает положительное направление оси  $B$  и точка пересечения лежит в пределах малого треугольника  $UVW$ , чем и решается поставленная нами задача.

Всесоюзный научно-исследовательский  
кинофотоинститут

Поступило  
2 I 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Т. Федоров и В. И. Федорова, Изв. АН СССР, ОМОН, № 10, 1431 (1935). <sup>2</sup> F. H. G. Pitt, Medical Res. Council, Report of the Committee on the Physiology of Vision, 14, Spec. ser., No. 200, London, 1935. <sup>3</sup> D. B. Judd, J. Opt. Soc. Am., 35, No. 3 (1945). <sup>4</sup> P. J. В о и т а, Physica, 9, 773 (1942). <sup>5</sup> А. К ö н и г, Gesamm. Abhandl., Leipzig, 1903.