

Е. Н. ЮСТОВА

НОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТНОГО ЗРЕНИЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 14 II 1949)

Свойства цветного зрения человека определяются кривыми спектральной чувствительности трех физиологических приемников R , G и B . Применяемые в расчетах цвета различные формы так называемых кривых сложения представляют собой их линейные комбинации. Если найти в цветовом пространстве такую систему координатных осей RGB , составляющие вдоль которых пропорциональны реакциям отдельных приемников глаза, то линейное преобразование кривых сложения к этой системе координат превратит их в кривые спектральной чувствительности приемников.

В недавних опытах с цветнослепыми ⁽¹⁾ нам удалось довольно точно определить по методике, предложенной Н. Д. Ньюбергом ⁽²⁾, направления двух координатных осей R и G основной физиологической системы. Мы используем теперь эти данные для расчета новых кривых спектральной чувствительности приемников на основе кривых сложения, стандартизованных Международной осветительной комиссией ⁽³⁾.

Характеризуя направления физиологических осей координатами x и y в международной системе цветов, мы получили для оси $x_R = 0,747$, $y_R = 0,250$ и для оси $x_G = 1,74$, $y_G = 0,72$. Направление оси B нам не удалось установить из-за отсутствия синеслепых наблюдателей. В силу чрезвычайной редкости этого вида цветовой слепоты, направление оси B устанавливалось различными исследователями с большой степенью произвола.

Однако этот произвол может быть значительно ограничен на основании соображений, высказанных Н. Д. Ньюбергом ⁽⁴⁾, из которых следует, что координаты, выражающие направление оси B в плоскости цветностей, должны заключаться в треугольнике, образованном двумя касательными к линии спектральных цветов, проведенными из точек, определяющих направления осей R и G , и линией нулевой яркости — алихной.

Полученные нами в плоскости xu значения координат, характеризующие направления двух осей R и G и управление алихны $y = 0$, приводят к следующим значениям координат вершин указанного треугольника:

$$\begin{array}{l} x_1 = 0,174 \quad y_1 = 0,005 \\ x_2 = 0,162 \quad y_2 = 0,000 \\ x_3 = 0,185 \quad y_3 = 0,000 \end{array}$$

Размеры этого треугольника настолько малы, что остающийся в его пределах произвол выбора направления координатной оси B не отражается существенно на результатах вычисления кривых чувствительности.

Сказанное иллюстрируется рис. 1, на котором представлены возможные формы кривых спектральной чувствительности приемников

R и G , полученные для различных вариантов направления оси B в условиях принятого ограничения. Приняв в качестве определяющих

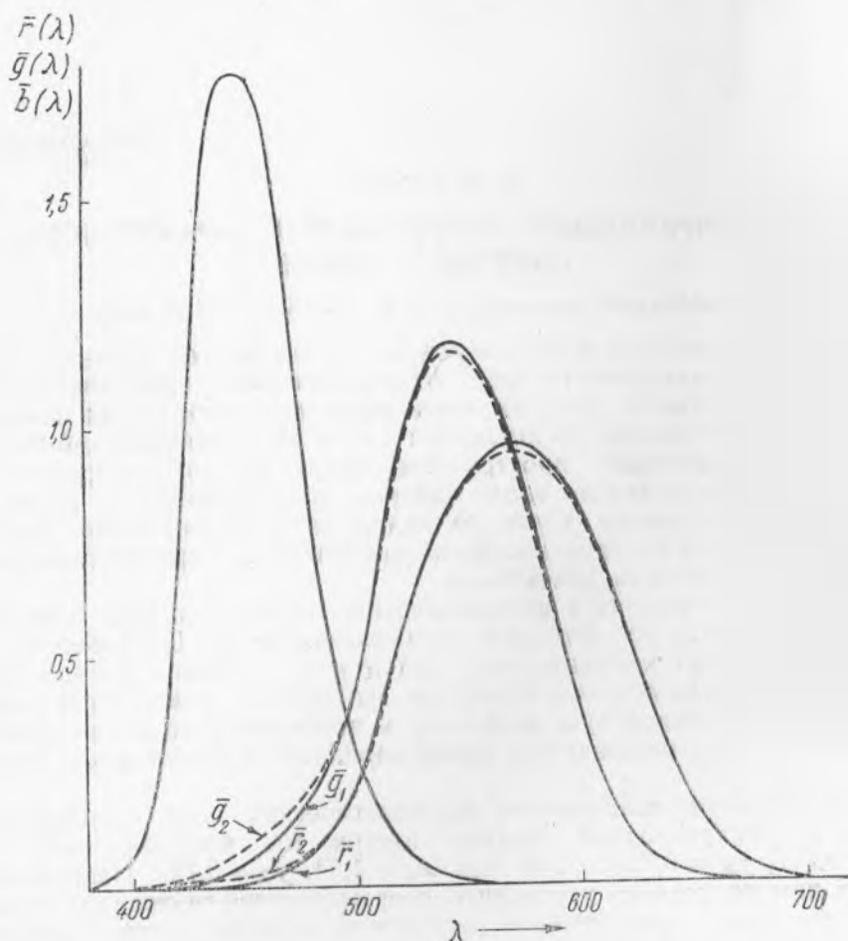


Рис. 1

направление оси B значения x_1 и y_1 , соответствующие одной из вершин треугольника, мы получим кривые \bar{r}_1 и \bar{g}_1 ; точке x_2y_2 соответствуют кривые \bar{r}_2 и \bar{g}_2 и точке x_3y_3 — кривые \bar{r}_3 и \bar{g}_3 .

Определенные нами оси R и G в пределах точности колориметрических измерений оказались лежащими в плоскости XY (так как у нас получилось, что $x_R + y_R \cong x_G + y_G \cong 1$). Поэтому кривая чувствительности приемника B совпадает с кривой $\bar{z}(\lambda)$ системы МОК.

Численные результаты расчета кривых спектральной чувствительности приемников для различных вариантов выбора координат приемника B приведены в табл. 1.

Полученные нами формулы перехода от координат $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ системы XYZ к координатам $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ основной физиологической системы RGB , по которым производились преобразования кривых сложения, имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{r}_1 &= 0,318 \bar{x} + 0,754 \bar{y} - 0,072 \bar{z} \\ \bar{r}_2 &= 0,315 \bar{x} + 0,746 \bar{y} - 0,061 \bar{z} \\ \bar{g}_1 &= -0,463 \bar{x} + 1,374 \bar{y} + 0,089 \bar{z} \\ \bar{g}_2 &= -0,455 \bar{x} + 1,352 \bar{y} + 0,103 \bar{z} \\ \bar{b} &= 0,000 \bar{x} + 0,000 \bar{y} + 1,000 \bar{z} \end{aligned}$$

Таблица 1

| λ | $\bar{r}_1(\lambda)$ | $\bar{r}_2(\lambda)$ | $\bar{g}_1(\lambda)$ | $\bar{g}_2(\lambda)$ | $\bar{b}_1(\lambda)$ |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 400 | | 0,0007 | | 0,0010 | 0,0679 |
| 10 | — | 0,0020 | — | 0,0032 | 0,2074 |
| 20 | — | 0,0060 | 0,0011 | 0,0110 | 0,6456 |
| 30 | — | 0,0137 | 0,0086 | 0,0297 | 1,3856 |
| 40 | 0,0028 | 0,0205 | 0,0269 | 0,0532 | 1,7471 |
| 450 | 0,0079 | 0,0264 | 0,0553 | 0,0815 | 1,7721 |
| 60 | 0,0175 | 0,0347 | 0,0973 | 0,1213 | 1,6692 |
| 70 | 0,0381 | 0,0510 | 0,1497 | 0,1671 | 1,2876 |
| 80 | 0,0767 | 0,0843 | 0,2194 | 0,2285 | 0,8130 |
| 90 | 0,1335 | 0,1370 | 0,3124 | 0,3147 | 0,4652 |
| 500 | 0,2255 | 0,2259 | 0,4655 | 0,4626 | 0,2720 |
| 10 | 0,3708 | 0,3686 | 0,7005 | 0,6922 | 0,1582 |
| 20 | 0,5498 | 0,5448 | 0,9525 | 0,9391 | 0,0782 |
| 30 | 0,6995 | 0,6926 | 1,1108 | 1,0943 | 0,0422 |
| 40 | 0,8101 | 0,8020 | 1,1773 | 1,1596 | 0,0203 |
| 550 | 0,8874 | 0,8784 | 1,1665 | 1,1486 | 0,0087 |
| 60 | 0,9389 | 0,9294 | 1,0914 | 1,0748 | 0,0039 |
| 70 | 0,9599 | 0,9502 | 0,9548 | 0,9401 | 0,0021 |
| 80 | 0,9473 | 0,9376 | 0,7709 | 0,7589 | 0,0017 |
| 90 | 0,8972 | 0,8880 | 0,5648 | 0,5560 | 0,0011 |
| 600 | 0,8136 | 0,8053 | 0,3751 | 0,3693 | 0,0008 |
| 10 | 0,6981 | 0,6910 | 0,2269 | 0,2234 | 0,0003 |
| 20 | 0,5590 | 0,5534 | 0,1279 | 0,1260 | 0,0002 |
| 30 | 0,4041 | 0,4000 | 0,0667 | 0,0658 | |
| 40 | 0,2744 | 0,2716 | 0,0331 | 0,0326 | |
| 650 | 0,1709 | 0,1691 | 0,0158 | 0,0156 | |
| 60 | 0,0985 | 0,0974 | 0,0075 | 0,0074 | |
| 70 | 0,0519 | 0,0514 | 0,0035 | 0,0035 | |
| 80 | 0,0277 | 0,0274 | 0,0017 | 0,0017 | |
| 90 | 0,0134 | 0,0132 | 0,0007 | 0,0007 | |
| 700 | 0,0067 | 0,0067 | 0,0003 | 0,0003 | |
| 10 | 0,0034 | 0,0034 | 0,0002 | 0,0002 | |
| 20 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0001 | 0,0001 | |

Результаты расчетов представлены также на рис. 2 в виде кривых $\bar{r}_1(\lambda)$, $\bar{g}_1(\lambda)$ и $\bar{b}_1(\lambda)$, нанесенных сплошными линиями. Наряду с ними для сравнения нанесены пунктиром известные кривые Кёнига-Айвса. Относительный масштаб обеих систем кривых был выбран с таким расчетом, чтобы совпадали ординаты максимумов кривых чувствительности приемника R .

В настоящее время известно несколько вариантов кривых спектральной чувствительности приемников глаза, полученных различными методами. Все эти кривые обнаруживают настолько значительное количественное расхождение, что при сравнении принято удовлетворяться лишь качественным сходством. Рассмотрение способов получения этих различных вариантов показывает, что лишь способ Кёнига не вызывает принципиальных возражений, хотя и страдает некоторыми существенными техническими недостатками.

Как показывает рис. 2, заметное расхождение полученных нами кривых с кривыми Кёнига-Айвса обнаруживается главным образом в кривой приемника B , т. е. лишь в синей части спектра.

Положения максимумов соответствующих пар кривых совпадают. Наши определения не подтвердили лишь второго слабого максимума, имеющегося в области синих цветов спектра на кривой приемника R по Кёнигу-Айвсу.

Расхождения кривых приемника B можно объяснить сравнительно меньшей точностью измерений в области синих цветов спектра при получении кривых сложения. Возникновение второго максимума на

кривой R Кёнига-Айвса вызывается неправильным выбором направления координатной оси B . В остальном можно утверждать, что в пределах точности колориметрических измерений мы имеем совпадение результатов.

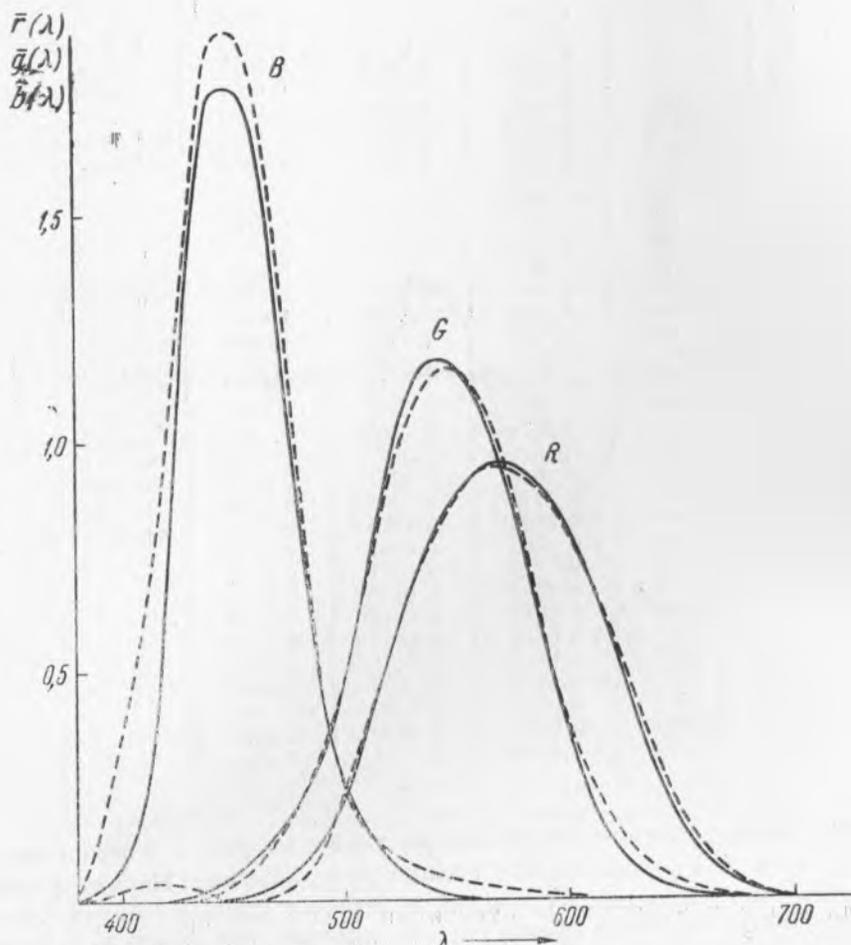


Рис. 2

Такое близкое совпадение кривых, полученных несколькими различными методами с промежутком во времени в 60 лет, является сильным аргументом в пользу достоверности этих результатов.

С одной стороны, этим самым реабилитируются кривые Кёнига-Айвса, которые иногда подвергались неосновательной критике⁽⁵⁾. С другой стороны, учет того обстоятельства, что для определения физиологической координатной системы применялся более совершенный метод Н. Д. Ньюберга, а также то, что в основу наших вычислений положены кривые сложения МОК, полученные в лучших экспериментальных условиях, дает право считать наши кривые более точными.

Поступило
2 I 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Н. Юстова, ДАН, 63, № 4 (1948). ² Н. Д. Ньюберг, ДАН, 63, № 4 (1948). ³ T. Smith and J. Guild, Trans. Opt. Soc., 33, 73 (1931—32). ⁴ Н. Д. Ньюберг, Проблемы физиологич. оптики, 6, 42 (1948); ДАН, 65, № 2 (1949). ⁵ Н. Т. Федоров, М. А. Юрьев, В. В. Складаревич и И. В. Введенская, Проблемы физиологич. оптики, 6, 78 (1948).