

БИОФИЗИКА

Е. Н. ЮСТОВА

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИЕМНИКОВ ГЛАЗА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 26 VI 1950)

1. В 1948 г. нами были получены по новой методике ⁽¹⁾ данные относительно осей основной физиологической системы ⁽²⁾ и характеристики спектральной чувствительности приемников глаза ⁽³⁾. Задачей дальнейшей работы явилось распространение исследования на большее число наблюдателей, чтобы получить средние значения, которые можно было бы принять в качестве типичных.

В 1949 г. было проведено исследование цветного зрения шести „краснослепых“ и девяти „зеленослепых“ наблюдателей. Итоговые результаты, включающие и данные 1948 г., относятся, таким образом, к группе „краснослепых“ наблюдателей в 10 человек и к группе „зеленослепых“ наблюдателей в 12 человек. Оказалось, что такое число наблюдателей достаточно, чтобы результаты каждого нового наблюдателя уже не меняли заметно получаемое среднее. Напомним, что международная система цветовых координат 1931 г. основана на характеристиках цветного зрения так называемого „стандартного наблюдателя“ ⁽⁴⁾, установленных исследованием группы в 17 человек.

2. В процессе испытания цветнослепые наблюдатели (дихроматы) уравнивали заданный цвет с целым рядом других цветов, ими неразличимых. Цвета каждого ряда, представленные точками в цветном пространстве нормального трихромата, располагались на прямой, имеющей направление той или другой из основных физиологических осей нормального трихромата.

В табл. 1 дается сводка значений x , y , определяющих направление оси R по средним данным измерения всей группы 10 „краснослепых“ наблюдателей. Аналогичным образом в табл. 2 представлены результаты определения направления оси G по данным „зеленослепых“ наблюдателей.

Таблица 1

Результаты определения направления оси R

Результаты 1948 г.					Результаты 1949 г.					Среднее	
Инициалы наблюдателей										Среднее	
ЮАД	АСБ	ВОК	ТПК	ЮМП	ИШГ	АМС	ВСС	ВАЦ	БВЛ		
x	0,758	0,748	0,737	0,743	0,749	0,745	0,741	0,744	0,753	0,737	0,746
y	0,240	0,248	0,256	0,262	0,252	0,251	0,250	0,243	0,249	0,253	$\pm 0,005$
											$\pm 0,004$

Таблица 2

Результаты определения направления оси *G*

Результаты 1948 г.					Результаты 1949 г.								
Инициалы наблюдателей													
	ИСО	АВК	СЕГ	СИШ	ИМИ	БНС	ЕМЛ	ЮАМ	ППТ	БАТ	ЛНГ	ЕАЕ	Среднее
<i>x</i>	1,63	1,69	1,85	1,72	1,43	1,85	1,12	1,64	1,38	1,92	1,82	1,78	1,65 ±0,18
<i>y</i>	-0,64	-0,74	-0,76	-0,73	-0,45	-0,81	-0,17	-0,73	-0,37	-0,76	-0,74	-0,66	-0,63 ±0,15

3. Данные табл. 1 обнаруживают весьма незначительные колебания от наблюдателя к наблюдателю значений координат оси *R* и являются хорошим подтверждением результатов 1948 г.

Значения координат оси *G* на плоскости *x*, *y* меняются в более широких пределах, но это объясняется не столько вариациями индивидуальных особенностей цветного зрения наблюдателей, сколько геометрией цветового пространства, именно, вытянутостью масштаба в области зеленых цветов.

Отметим, что сумма координат *x* + *y* решительно во всех случаях близка к единице и, следовательно, оси *R* и *G* практически лежат в плоскости *XY* международной системы. Это дает нам право исправить средние значения координат осей *R* и *G* так, чтобы сумма *x* + *y* точно равнялась единице. Для оси *R* мы примем поэтому значения: *x* = 0,748, *y* = 0,252 и для оси *G* *x* = 1,65, *y* = -0,65.

Направление оси *B*, как и прежде (5,3), определялось расчетом на основании найденных значений для координат осей *R* и *G*. Незначительное отклонение направления этих осей по сравнению со средними результатами

Рис. 1. Кривые спектральной чувствительности приемников глаза

1948 г. не внесло изменений в полученные тогда координаты оси *B*. Мы принимаем для характеристики направления оси *x* = 0,174, *y* = -0,002, как среднее из трех возможных крайних значений (3).

Совокупность полученных данных позволяет определить основную физиологическую систему среднего наблюдателя следующими значениями координат цветности:

$$\begin{aligned} \text{для оси } R \quad x = 0,748 \quad y = 0,252 \\ \text{для оси } G \quad x = 1,65 \quad y = -0,65 \\ \text{для оси } B \quad x = 0,174 \quad y = 0,002 \end{aligned}$$

4. Расчет дает теперь следующие уравнения связи между ортами *R*, *G*, *B* основной физиологической системы среднего наблюдателя и международной системы *X*, *Y*, *Z* при условии, что „белым“ источни-

ком, для которого координаты по всем трем осям равны, является спектр равнозернистого источника ε :

$$\begin{aligned} R &= 1,79 X + 0,603 Y + 0 Z, \\ G &= -1,00 X + 0,395 Y + 0 Z, \\ B &= 0,211 X + 0,002 Y + 1,00 Z. \end{aligned}$$

В них координаты 0,603; 0,395 и 0,002 при Y являются яркостными коэффициентами системы.

Уравнения перехода от координат x, y, z в международной системе к координатам r, g, b в основной физиологической системе получаются теперь в следующем виде:

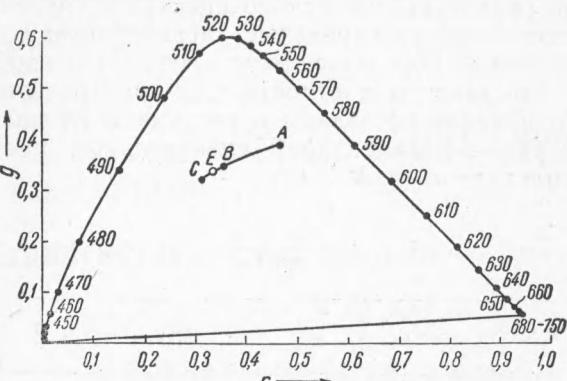


Рис. 2. Линия спектральных цветов в цветовом треугольнике r, g, b

$$\begin{aligned} \bar{r} &= 0,301 \bar{x} + 0,765 \bar{y} - 0,066 \bar{z}, \\ \bar{g} &= -0,460 \bar{x} + 1,366 \bar{y} + 0,094 \bar{z}, \\ \bar{b} &= 0 \bar{x} + 0 \bar{y} + 1,000 \bar{z}. \end{aligned}$$

Таблица 3

Спектральные характеристики приемников глаза

$\lambda, \text{мкм}$	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$	$\lambda, \text{мкм}$	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
380	0	0	0,0065	80	0,9408	0,7672	0,0017
90	0,0001	0,0001	0,0201	90	0,8875	0,5621	0,0011
400	0,0002	0,0003	0,0679	600	0,8020	0,3734	0,0008
10	0,0004	0,0011	0,2074	10	0,6864	0,2258	0,0003
20	0,0013	0,0042	0,6456	20	0,5485	0,1273	0,0002
30	0,0036	0,0154	1,3856	30	0,3960	0,0663	—
40	0,0081	0,0351	1,7471	40	0,2686	0,0330	—
450	0,0142	0,0636	1,7721	650	0,1672	0,0157	—
60	0,0242	0,1049	1,6692	60	0,0963	0,0075	—
70	0,0441	0,1554	1,2876	70	0,0508	0,0035	—
80	0,0817	0,2224	0,8130	80	0,0271	0,0017	—
90	0,1381	0,3133	0,4652	90	0,0131	0,0007	—
500	0,2305	0,4647	0,2720	700	0,0065	0,0004	—
10	0,3768	0,6980	0,1582	10	0,0033	0,0002	—
20	0,5566	0,9485	0,0782	20	0,0017	0,0001	—
30	0,7057	1,1058	0,0422	30	0,0008	0,0000	—
40	0,8152	1,1719	0,0203	40	0,0004	0,0000	—
550	0,8903	1,1611	0,0087	750	0,0002	0,0000	—
60	0,9392	1,0865	0,0039	760	0,0001	0,0000	—
70	0,9569	0,9503	0,0021				—

Используя последние уравнения и „кривые сложения“ стандартного наблюдателя МОК $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$, мы получаем координаты цветов равноЭнергетического спектра в системе RGB , которые представляют собой спектральные характеристики чувствительности приемников глаза. Они приведены в табл. 3 и изображены на рис. 1.

Координаты цветности r , g спектральных излучений (трехцветные коэффициенты) заданы в системе RGB числами табл. 4 и изображены на рис. 2 в виде линий спектральных цветов в прямоугольном треугольнике r , g , b .

Таблица 4

Цветности спектральных излучений

$\lambda, \text{мкм}$	$r(\lambda)$	$g(\lambda)$	$b(\lambda)$	$\lambda, \text{мкм}$	$r(\lambda)$	$g(\lambda)$	$b(\lambda)$
380	—	—	—	80	0,5504	0,4487	0,0009
90	0,0049	0,0049	0,9901	90	0,6117	0,3875	0,0008
400	0,0029	0,0044	0,9927	600	0,6819	0,3175	0,0007
10	0,0019	0,0053	0,9928	10	0,7522	0,2475	0,0003
20	0,0020	0,0065	0,9915	20	0,8114	0,1883	0,0003
30	0,0026	0,110	0,9864	30	0,8566	0,1434	—
40	0,0045	0,0196	0,9759	40	0,8905	0,1094	—
450	0,0077	0,0344	0,9579	650	0,9142	0,0858	—
60	0,0135	0,0583	0,9282	60	0,9277	0,0723	—
70	0,0297	0,1045	0,8658	70	0,9355	0,0645	
80	0,0731	0,1991	0,7278	80	0,9410	0,0590	
90	0,1507	0,3418	0,5075	90	0,942	0,058	
500	0,2383	0,4805	0,2812	700	0,942	0,058	
10	0,3056	0,5661	0,1283	10	0,942	0,058	
20	0,3515	0,5991	0,0494	20	0,942	0,058	
30	0,3807	0,5965	0,0228	30	0,942	0,058	
40	0,4061	0,5838	0,0101	40	0,942	0,058	
550	0,4322	0,5636	0,0042	750	0,942	0,058	
60	0,4628	0,5353	0,0019	760	0,942	0,058	
70	0,5012	0,4977	0,0011				

Совокупность новых данных, усредняющих результаты 1948 и 1949 гг., можно рассматривать как наиболее прямую характеристику цветного зрения наблюдателя и предложить их для использования при изучении разнообразных явлений цветного зрения.

Поступило
24 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Д. Нюберг, ДАН, 63, № 4 (1948). ² Е. Н. Юстова, ДАН, 63, № 4 (1948). ³ Е. Н. Юстова, ДАН, 65, № 5 (1949). ⁴ T. Smith and J. Guild, Trans. Opt. Soc., 32, 73 (1931—32). ⁵ Н. Д. Нюберг, ДАН, 65, № 2 (1949).