

Н. Н. ЛИВШИЦ

О ЗАКОНАХ БИНОКУЛЯРНОГО СЛОЖЕНИЯ ЦВЕТОВ

(Представлено академиком С. И. Васильевым 26 V 1940)

Изучение законов бинокулярного сложения цветов является одним из подступов к выяснению роли центральной нервной системы человека в цветоощущении. Количественно бинокулярное сложение цветов исследовали лишь Тренделенбург^(1,2) и Роша^(3,4) для нескольких пар спектральных цветов. Ими было установлено резкое различие между законами монокулярного и бинокулярного сложения цветов, что дало повод предполагать, что монокулярное и бинокулярное сложение цветов осуществляются в разных отделах зрительного аппарата.

С исключительной проницательностью Э. Шредингер⁽⁵⁾ указал на возможность существования связи между наблюдаемыми законами бинокулярного сложения цветов и законом бинокулярной суммации яркостей белого света в условиях световой адаптации, так называемым фехнеровским парадоксом, отметив однако, что результаты, полученные Тренделенбургом, не могут быть полностью объяснены таким образом.

В 1936 г. проф. Н. Т. Федоров предложил мне провести под его руководством систематическое исследование уравнений бинокулярного смешения цветов для широкого участка спектра и построить кривые бинокулярного сложения цветов, что должно было позволить поставить вопрос о механизме этих феноменов. Нами была использована оптическая схема, позволяющая на одном приборе определять монокулярные и бинокулярные уравнения сложения цветов. От схемы Тренделенбурга⁽²⁾ наша схема, рассчитанная конструктором В. Е. Бусыгиным, отличалась тем, что цвет сравнения подавался в оба глаза, а не в один, иным приспособлением для монокулярного сложения цветов (призмы Рошона вместо двойной щели) и более тонкой регулировкой интенсивности света.

При измерении бинокулярных уравнений призмы Рошона ($3-3'$) устанавливались так, чтобы необыкновенные лучи гасились и видны были бы только обыкновенные лучи. Смотря правым глазом в окуляр (G'), наблюдатель видит поле y (фиг. 1), левая половина которого (m) освещалась одним из смешиваемых цветов (например, зеленым) от коллиматорной трубы (A), а правая (n)—поданным цветом для сравнения (например, желтым), направлявшимся посредством прямоугольной призмы (Z) от монохроматора (D). Левый глаз видит в окуляр (9) поле (x), левая половина которого (K) освещалась вторым из смешиваемых цветов (красным) от монохроматора (C), а правая (L)—заданным цветом для

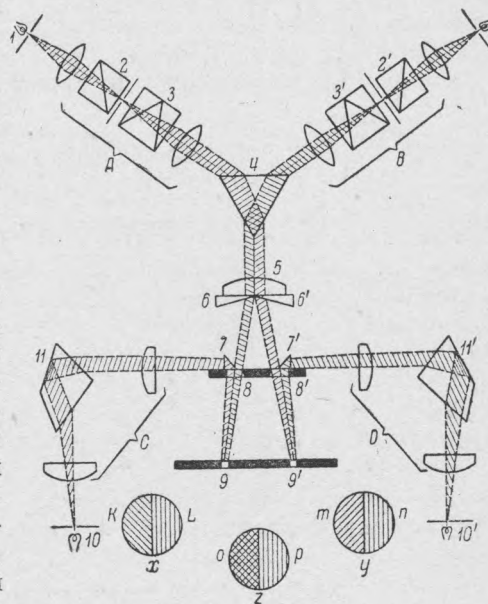
сравнения (в нашем примере желтым) от коллиматорной трубы (B). Наблюдатель конвергировал глаза таким образом, чтобы поля x и y налагались друг на друга, и тогда он видел одно общее поле (z), левая половина которого (o) освещалась смешанным зеленым и красным цветом от левой коллиматорной трубы (A) и левого монохроматора (C), а правая половина (p) — монохроматическим светом от правой коллиматорной трубы (B) и правого монохроматора (D), которые при таком порядке опыта устанавливались на одинаковую длину волны.

Регулируя интенсивности световых потоков поворотом призм Николя (2—2') (фиг. 1) и изменением открытия входных щелей (1—1' и 10—10'), наблюдатель добивался фотометрического равенства поля (o), освещенного смешанным светом, и монохроматического поля (p). Для измерения монокулярных уравнений можно было пользоваться любым из окуляров, причем одна половина поля (K или m) освещалась смешанным светом, составленным из обыкновенного и необыкновенного лучей коллиматорной трубы (A или B), а другая половина поля (L или n) — монохроматическим светом от монохроматоров (C или D).

Все опыты велись в светлой комнате у окна (освещенность вблизи прибора была не менее 300 люксов). Угловые размеры полей = 45 минутам. Отношение интенсивностей монохроматических полей, видимых правым и левым глазом, было измерено посредством интегрально-балансного прибора с многокаскадной высокоэффективной вторично-электронной трубкой системы инж. Л. А. Кубецкого* (6). Этот метод позволил нам измерить относительную яркость полей (световые потоки порядка 10^{-11} , 10^{-12} люмена) с точностью до 3—5%. Этим же прибором была проверена правильность градуировки лимбов николей и шкалы входных щелей. Эти ответственные и сложные измерения были выполнены инж. Л. Н. Штейнгаузом при консультации автора метода инж. Л. А. Кубецкого.

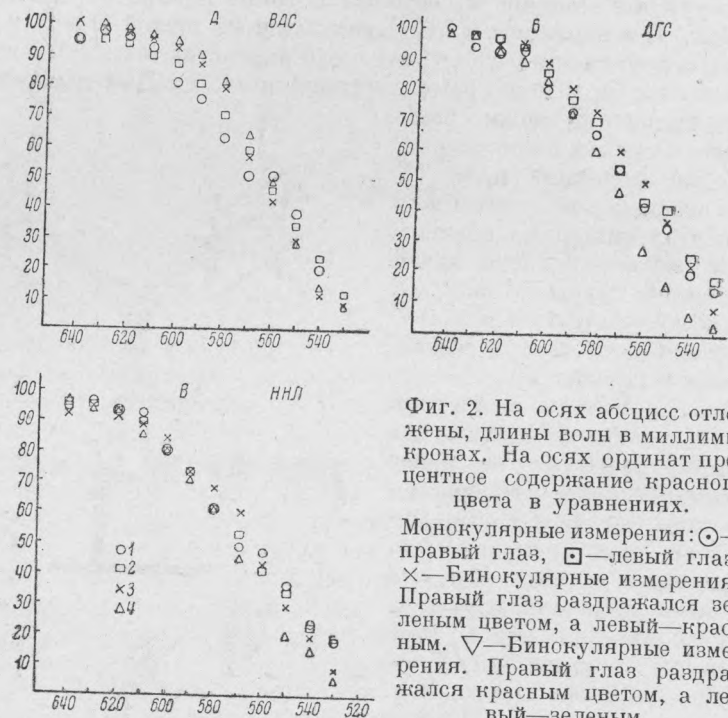
Нами были исследованы монокулярные и бинокулярные уравнения сложения цветов для всех длин волн, от 640 до 530 $m\mu$ через 10 $m\mu$. Все лежащие в этих границах цвета получались сложением 670 $m\mu$ с 517 $m\mu$. Работа проводилась на трех хорошо тренированных наблюдателях с нормальным зрением и приблизительно одинаковыми монокулярными уравнениями смешения цветов для правого и левого глаза, причем, несмотря на большой фотометрический опыт и специальную тренировку в бинокулярных измерениях наших наблюдателей, бинокулярные измерения оказались настолько трудными, что нам не удалось избежать разброса точек на наших кривых. Для сравнения с монокулярными кривыми были взяты средние величины из ряда бинокулярных измерений.

* См. доклад Л. А. Кубецкого на заседании в Институте теоретической геофизики АН СССР 15 IV 1940 г., а также статью Родионова (6).



Фиг. 1.

Всего было измерено (фиг. 2): наблюдателем Н. Н. Л. — 16 бинокулярных кривых, наблюдателем Д. Г. С. — 13 и В. А. С. — 8. При этом каждая точка на отдельной кривой в свою очередь являлась средней величиной из 10 отсчетов. Одна половина измерений была сделана при раздражении правого глаза красным, а левого — зеленым цветом, а вторая половина при обратном порядке опыта. У наблюдателей В. А. С. и Н. Н. Л. средние величины обеих серий измерений совпали, у Д. Г. С. они несколько разошлись. Причины этого расхождения пока не выяснены. Возможно, что они



Фиг. 2. На осях абсцисс отложены, длины волн в миллимикронах. На осях ординат процентное содержание красного цвета в уравнениях.

Монокулярные измерения: \circ — правый глаз, \square — левый глаз. \times — Бинокулярные измерения. Правый глаз раздражался зеленым цветом, а левый — красным. ∇ — Бинокулярные измерения. Правый глаз раздражался красным цветом, а левый — зеленым.

объясняются доминированием одного из глаз. Вообще результаты измерений у трех наблюдателей оказались несколько различными.

Для того чтобы выяснить, отличается ли бинокулярное смешение цветов от монокулярного, нужно было элиминировать бинокулярное сложение цветовых тонов от бинокулярной суммации их яркостных компонентов. Известно⁽⁵⁾, что при бинокулярной суммации ахроматических раздражителей участие каждого глаза в суммарном ощущении пропорционально коэффициенту, равному отношению яркости попадающего в этот глаз светового потока к сумме яркостей световых потоков, попадающих в оба глаза:

$$k = \frac{B_l}{B_l + B_r} \quad \text{или} \quad \frac{B_r}{B_l + B_r},$$

где B_l и B_r — яркости световых потоков, попадающих соответственно в левый и правый глаз.

Промерив методом малых ступеней (через 4 м μ) кривые спектральной чувствительности правого и левого глаза у всех наблюдателей и введя в бинокулярные уравнения сложения цветов вышеуказанные коэффициенты k , мы нашли, что у всех трех наблюдателей кривые бинокулярного сложения цветов совпали (в пределах точности наших измерений) с монокулярными. Те различия, которые обнаружили в результатах бинокулярных изме-

рений у наших наблюдателей до введения в уравнения коэффициентов бинокулярной суммации яркостных компонентов, были, очевидно, вызваны разной спектральной чувствительностью их глаз. Следовательно:

1. Бинокулярное сложение цветов, в противоположность утверждению и Роша и Тренделенбурга, происходит по тем же количественным законам, что и монокулярное. Поэтому нет никаких оснований предполагать, что монокулярное и бинокулярное сложение цветов могут происходить в разных отделах зрительного аппарата. Очевидно, что сложение цветов, как монокулярное, так и бинокулярное, осуществляется не в сетчатке, а в одном из отделов головного мозга (в каком именно — пока нельзя сказать с уверенностью).

2. Несмотря на то что мы воспринимаем цветовой тон и яркостный компонент как единое целое, бинокулярная суммация яркостных компонентов и цветовых тонов происходит по различным количественным законам. Можно поэтому допустить, что восприятие цветового тона и его яркостного компонента связаны с различными физиологическими аппаратами.

Лаборатория физиологической оптики
Всесоюзного института экспериментальной медицины
им. А. М. Горького

Поступило
11 VI 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Trendelenburg, ZS. f. Sinnesphysiologie, Bd. 48, S. 199 (1913).
² Trendelenburg, Pflüger's Archiv, Bd. 201, S. 235 (1923). ³ Rochat, Arch. Neerl. d. Physiol., 7 (1922). ⁴ Rochat, Graete's Archiv f. Ophthalmologie, Bd. 114, H. 3—4, S. 595 (1924). ⁵ Schroedinger, Über binokuläre Farbenmischung, Müller Pouillet's Lehrbuch der Physik, Bd. II, S. 558 (1926). ⁶ Родионов, Журн. техн. физ. (1939).