

Г. Н. РАУТИАН

О ВЕБЕР-ФЕХНЕРОВСКОМ ОТНОШЕНИИ ДЛЯ ЦВЕТООЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ ГЛАЗА

(Представлено академиком А. Н. Терениным 3 V 1951)

1. Работы Гранита⁽¹⁾ демонстрируют реальность существования на периферии зрительного анализатора — в сетчатке глаза — трех видов приемников, осуществляющих дифференцированное восприятие излучений, достаточно различающихся по спектральному составу. Гипотеза Юнга — Гельмгольца перестала быть гипотезой.

При всех исследованиях функций дневного зрения теперь нельзя уже не считаться с фактом сложной реакции трех систем приемников даже и в тех, за немногими исключениями, случаях, когда на глаз воздействует монохроматическое излучение. Эта сложность реакции должна, очевидно, осложнять анализ явлений. Поэтому, естественно, особый интерес представляет вопрос о раздельном изучении свойств трех систем приемников в их связи с центральной нервной системой.

Одна задача в этом направлении разрабатывалась уж давно и в настоящее время является выясненной в существенных своих чертах довольно полно — это вопрос о спектральной чувствительности трех систем приемников⁽²⁾. Знание этого позволяет во всех случаях учитывать воздействия на каждую из систем приемников в отдельности. Но следует признать, что и сейчас еще вместо такого четкого подхода большею частью ограничиваются рассмотрением воздействия на глаз в целом «красного», «зеленого», «желтого» и т. д. света. Так например, обстоит дело при изучении «чувствительности глаза» к различиям яркости или насыщенности к различиям по цветовому тону.

Кениг, один из первых определивший⁽³⁾ с хорошей обстоятельностью и точностью кривые спектральной чувствительности приемников глаза, при изучении контрастной чувствительности⁽⁴⁾ не сошел все же с позиций интегрального рассмотрения явлений. То же самое наблюдается и в очень большом числе дальнейших исследований, посвященных изучению Вебер-Фехнеровского отношения $\Delta I/I$ для ΔI , находящегося на пороге зрительной различимости.

Результаты опытов Райта⁽⁵⁾ показали, что весьма сильные (до 50 раз) изменения в яркости поля предварительной адаптации незначительно мало сказываются на величине ΔI при условии постоянства I . Это убедительно говорит о том, что в условиях опытов Райта относительная величина порога различения $\Delta I/I$ определяется условиями не на сетчатке, а в зрительных центрах мозга. Это подтверждается также тем, что зависимость отношения $\Delta I/I$ от I протекает и для зрительного и для других анализаторов одинаковым образом. Здесь мы явно имеем функциональную характеристику центральной нервной системы.

В таком случае возникает задача проследить характер восприятия и различения сигналов, посылаемых каждой из трех систем приемников сетчатки, и, в частности, определить впервые прямым образом,

Таблица 1

№№ порогов	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
$\Delta\rho$ ρ	I наблюд.	0,045	0,065	0,050	0,025	0,035	0,045	0,055	0,040	0,050	0,050	0,055	0,055
	II наблюд.	0,035	0,045	0,060	0,035	0,065	0,030	0,035	0,050	0,030	0,055	0,060	0,060
Средн. $\Delta\rho/\rho$	0,035	0,045	0,060	0,045	0,045	0,045	0,040	0,045	0,045	0,040	0,050	0,060	0,060

для каждой из них в отдельности, ход величины Вебер-Фехнеровского отношения $\Delta I/I$ *.

2. В настоящей работе был использован описанный ранее новый аномалоскоп (6,7), особенностью которого является то, что в нем переменному воздействию может подвергаться каждая из трех систем приемников в отдельности. Не представляет большой сложности определить на таком аномалоскопе величину не только первого порога, но, шаг за шагом, и всех остальных, на всем протяжении изменений цвета его переменного полуполя, т. е. почти поперек всего цветового треугольника.

Для этого аномалоскоп соединялся с трехцветным колориметром, который позволял производить измерения координат своего полуполя, освещаемого светом переменного поля аномалоскопа. Цвет последнего изменялся последовательно, порог за порогом, а к нему постепенно подравнивали цвет второго полуполя колориметра, осуществляя этим измерение цвета на каждой ступени. Было выполнено 3 или 4 повторных серий таких измерений несколькими наблюдателями через один порог, вплоть до конечного цвета каждого испытания.

Координаты a, b, v , получаемые на каждой ступени в системе K, Z, C колориметра, пересчитывались на координаты ρ, γ, β по осям RGB основной физиологической системы (2) с помощью формул перехода:

$$\rho = 0,3198 a + 0,4127 b + 0,047 v;$$

$$\gamma = 0,0340 a + 0,5427 b + 0,108 v;$$

$$\beta = 0,0446 b + 0,7691 v.$$

В табл. 1 даются относительные приращения координаты ρ по оси R $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\rho_n - \rho_{n-2}}{2\rho_{n1}}$, усредненные для всех трех серий, т. е. фактические значения Вебер-Фехнеровского отношения $\Delta I/I$ для приемника R (см. табл. 1).

На рис. 1 представлены графически экспериментальные данные для обоих наблюдателей, так же как и усредненные значения. Средний уровень $\Delta\rho/\rho$ на всем протяжении почти 4-кратного изменения переменной координаты ρ (от 10 до 40) можно считать близким к постоянству, несмотря на все колебания, в естественно больших пределах ошибок установления величины порогов и по-

* В работах Дефриза (8) и Стайлса (9) также используется отношение $\Delta I/I$, но косвенно и для исследования чувствительности приемников по спектру, причем с результатами скорее качественного характера.

грешностей колориметрического определения координаты ρ (одно и то же значение у обоих наблюдателей: $4,7\%$).

В табл. 2 приводятся средние из трех серий значения отношений $\Delta\gamma/\gamma$ для приемника G , полученные первым и вторым, и еще третьим наблюдателем на протяжении около 25 пороговых интервалов (через один), укладываемых между крайними цветами второго испытания на аномалоскопе.

Таблица 2

№№ порогов	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	
$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}$	I наблюд.	0,040	0,025	0,040	0,065	0,06	0,06	0,045	0,055	0,075	0,075	0,10	0,13
	II наблюд.	0,035	0,045	0,050	0,055	0,05	0,09	0,055	0,100	0,095	0,11	—	—
	III наблюд.	0,03	0,030	0,065	0,035	0,065	0,055	0,055	0,055	0,075	0,08	0,08	0,115
Средн. $\Delta\gamma/\gamma$	0,035	0,035	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,07	0,08	0,09	0,09	0,12	

Рис. 2 дает совокупность найденных значений $\Delta\gamma/\gamma$ в пределах также 4-кратного изменения координаты γ , которое происходит здесь, однако, в направлении уменьшения γ (от 19 до 5); но ясно, что порядок испытаний не имеет, по существу, значения.

Из этих данных для приемника G можно видеть, что Вебер-Фехнеровское отношение $\Delta\gamma/\gamma$ не остается для него постоянным, увеличиваясь примерно в 3 раза по мере уменьшения γ .

Результаты измерения пороговых интервалов цвета для третьего приемника B представлены для тех же трех наблюдателей на рис. 3 и в табл. 3. В этом случае координата β , т. е. величина воздействия на приемник B , увеличивается, поскольку цвет переменного полуполя изменяется здесь от желто-зеленого к синему.

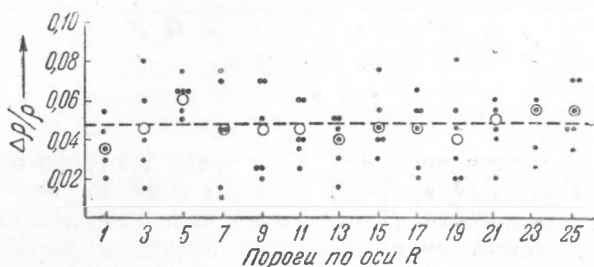


Рис. 1

Таблица 3

№№ порогов	1	3	5	7	9	11	13	15	
$\frac{\Delta\beta}{\beta}$	I наблюд.	0,21	0,225	0,165	0,13	0,11	0,09	0,10	—
	II наблюд.	0,215	0,22	0,15	0,12	0,11	0,13	0,125	—
	III наблюд.	0,255	0,19	0,09	0,115	0,075	0,075	0,09	—
Средн. $\Delta\beta/\beta$	0,225	0,21	0,135	0,12	0,10	0,10	0,105	—	

Здесь, в отличие от предыдущего, наблюдаются очень большие значения отношения $\Delta\beta/\beta$, доходящие до 25% и не снижающиеся меньше 10% . Полученные для трех наблюдателей значения $\Delta\beta/\beta$ можно считать довольно близкими друг к другу.

3. На основе полученных результатов испытаний можно, повидимому, заключить, что в данной конкретной экспериментальной обста-

новке (т. е. при угловых размерах поля зрения $\sim 3,5^\circ$ и видимой яркости около 300 фотон) мы застаем приемник R (при значениях ρ , меняющихся от 10 до 40) в полосе оптимального восприятия его сигналов, что выражается известным постоянным отношением $\Delta\rho/\rho$ при сравнительно низком значении этого отношения, т. е. можно считать, что здесь для него соблюдается правило Вебера-Фехнера $\Delta I/I = \text{const}$. Этого уже нельзя сказать про приемник G . Приходится заключить, что оптимальные условия восприятия его сигналов должны иметь место при более высоких значениях γ , чем 20, чего в наших условиях не было ($5 < \gamma < 19$).

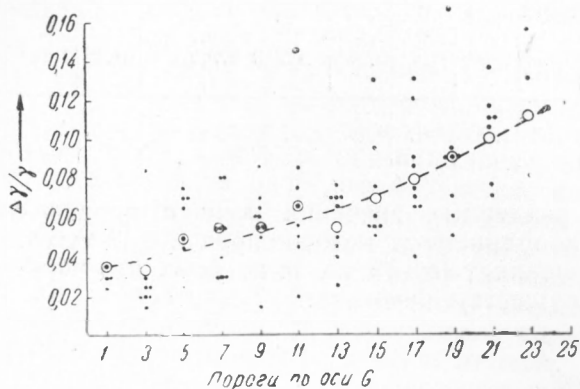


Рис. 2

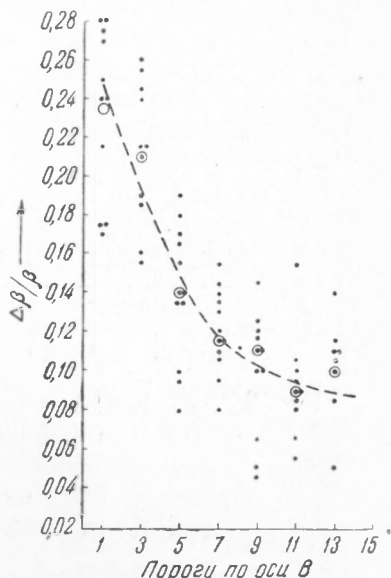


Рис. 3

Условия восприятия сигналов третьего приемника, B , были при β , изменяющейся от 3,5 хотя бы и до 35, все же весьма далекими от оптимальности. Для него вначале имелись как бы «потемки» и, соответственно, очень большие значения порога. Можно ожидать, что в аналогичных условиях то же самое будет наблюдаться и для других двух приемников.

То обстоятельство, что отношение $\Delta I/I$ в условиях данных экспериментов, оказалось непостоянным, хотя бы для приемников G и B , показывает, что выражения для элемента длины в цветовом пространстве, которые строились рядом авторов⁽¹¹⁾, начиная с Гельмгольца⁽¹⁰⁾, в предположении соблюдения «закона» Вебера—Фехнера для отдельных видов приемников, являются весьма приближенными, не отвечая гораздо более сложной действительности.

Поступило
23 II 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Granit, Proc. Phys. Soc. London, **57**, 447 (1945); Sensory Mechanisms of the Retina, 1947. ² Е. Н. Юстова, ДАН, **74**, 1069 (1950). ³ А. König u. C. Dieterici, Sitzber. Preuss. Akad. Wiss., **29**, 805 (1886); Ges. Abh. Physiol. Optik, Leipzig, 1903, S. 60, 214. ⁴ А. König u. E. Brodhun, Sitzber. Berl. Akad. Wiss., 917 (1888); 641 (1889); Ges. Abh. physiol. Optik, 1889, Leipzig, 1903, S. 135. ⁵ W. D. Wright, Proc. Roy. Soc., Sect. (B), **115**, 49 (1934); Researches on Normal and Defective Colour Vision, London, 1946, p. 201. ⁶ Г. Н. Раутиан, ДАН, **73**, № 1 (1950). ⁷ Г. Н. Раутиан, ДАН, **74**, № 6 (1950). ⁸ H. de Vries, Journ. Opt. Soc. Am., **36**, 121 (1946). ⁹ W. Stiles, Proc. Roy. Soc., Sect. (B), **133**, 418 (1946); Rev. d'Optique, **28**, 215 (1949). ¹⁰ H. v. Helmholtz, Sitzber. Preuss. Akad. Wiss., **2**, 1073 (1891). ¹¹ E. Schrödinger, Ann. d. Physik, **63**, 495 (1920); Н. Д. Ньюберг. в книге Н. Т. Федорова «Современное состояние колориметрии», 1933.