

Г. Н. РАУТИАН

ПОРОГИ ЦВЕТРАЗЛИЧЕНИЯ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 11 VII 1953)

Острота цветоразличения является одним из характерных показателей работы зрительного анализатора. Она может быть определена в каждой точке цветового пространства как величина, обратная наименьшему, еще воспринимаемому различию по цвету, как величина, обратная «порогу цветоразличения».

В излагаемой работе было выполнено четырьмя наблюдателями с заведомо нормальным цветом зрением определение порогов цветоразличения вокруг 36 цветов, колориметрические координаты которых удовлетворяют условию $k + z + c = \text{const}$. В геометрическом представлении все эти цвета лежат в одной плоскости, проведенной через три основных цвета $\bar{K}_0, \bar{Z}_0, \bar{C}_0$ — типичные для трехцветных колориметров орты (ср. рис. 1). В работе был использован специально построенный для всестороннего изучения цветного зрения большой двоянный трехцветный колориметр, оптическая схема которого представлена на рис. 2, а.

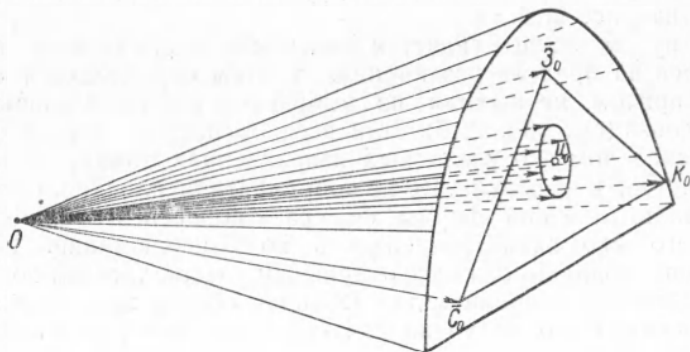


Рис. 1

Прибор позволяет получить в каждой из половин его поля зрения, освещаемой соответственным колориметром K_I или K_{II} , любой цвет в пределах цветового треугольника K_0, Z_0, C_0 *. Последний определяется выбором трех цветных стекол, которые образуют тройной составной светофильтр Φ (см. рис. 2, б), одинаковый в обеих половинах прибора (K_I и K_{II}). Изменения цвета окулярных полуполей произ-

* Координаты цветности для K_0, Z_0, C_0 в международной системе X_0, Y_0, Z_0 равнялись: $X_k = 0,691$; $Y_k = 0,299$; $X_z = 0,257$; $Y_z = 0,675$; $X_c = 0,150$; $Y_c = 0,094$.

водятся независимыми перемещениями каждого из этих составных светофильтров поперек оптической оси колориметра, фиксируемыми на двух шкалах: вертикальной и горизонтальной (см. рис. 2, б), отсчеты по которым m_v и m_g и являются первичными цветовыми координатами.

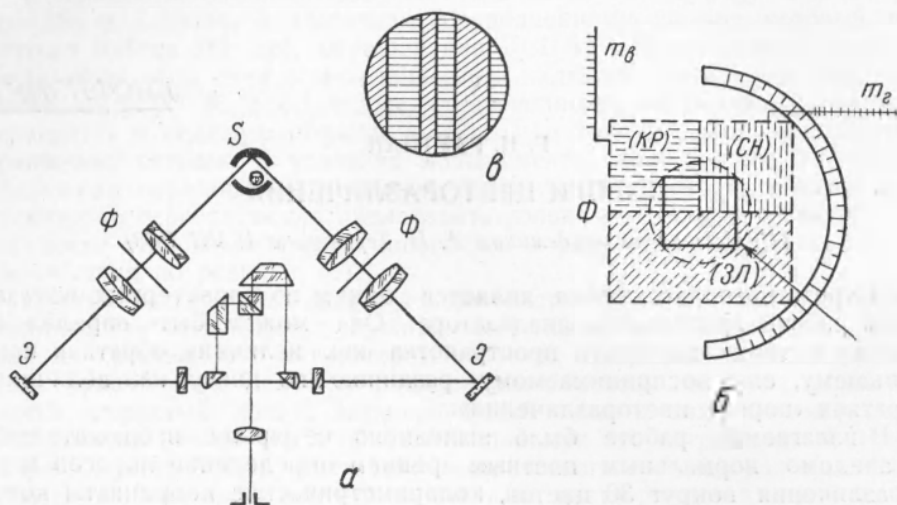


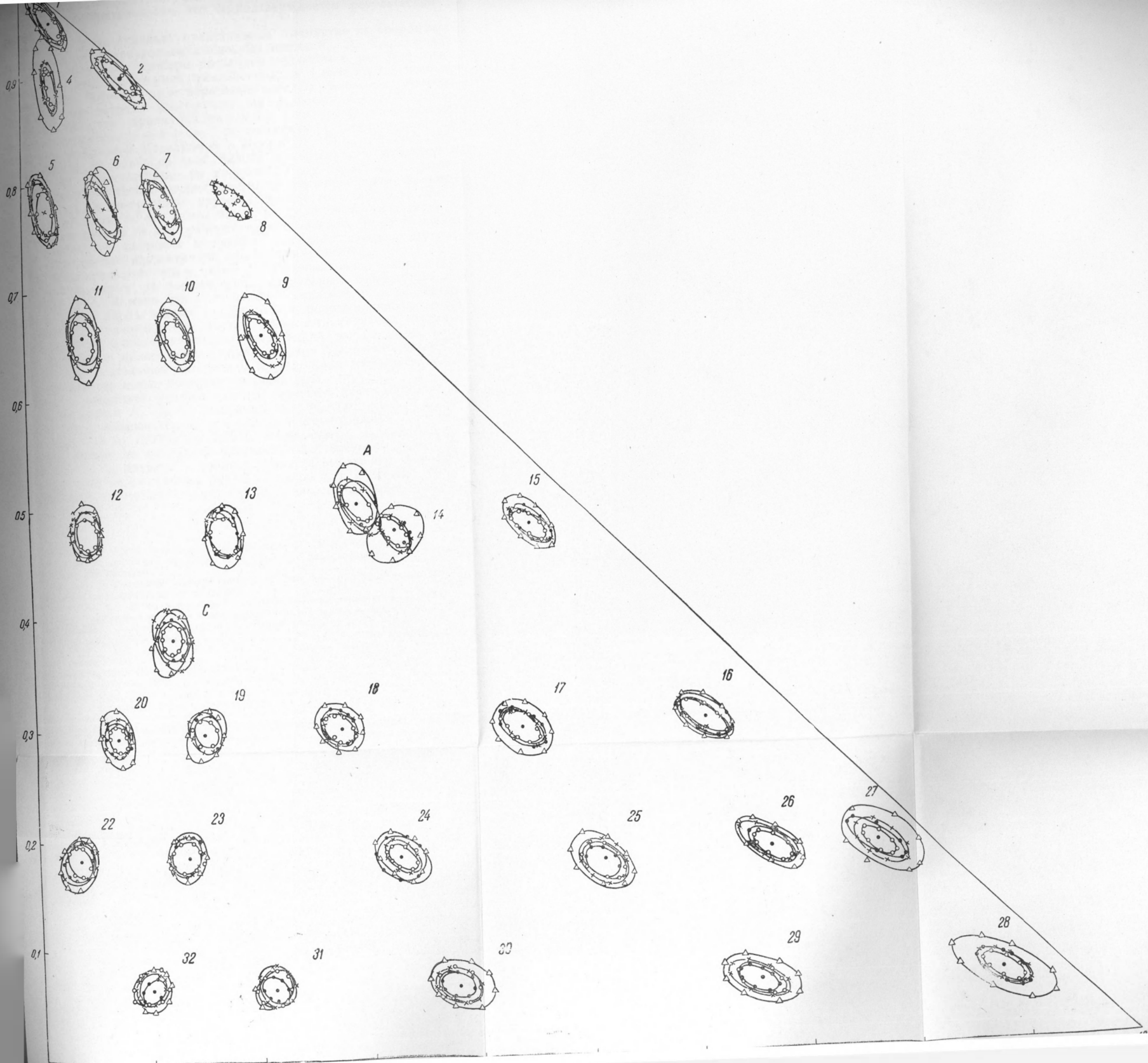
Рис. 2

Сперва на приборе устанавливается полное равенство цвета обеих окулярных полуполей, отвечающее полному физическому тождеству их освещения. Затем цвет одного из полуполей плавно и постепенно меняется путем перемещения каретки со светофильтрами Φ в любом направлении, фиксируемом особой круговой шкалой, показанной схематически на рис. 2, б.

Таким путем осуществляется изменение цвета одного полуполя, находящегося на пределе различения, и этим определяется «цветовой порог»* и притом, не выходя из выбранной цветовой плоскости $k + z + c = \text{const}$ (см. рис. 2, б). Для всех 36 цветов пороги определялись не менее чем в 6 различных направлениях вокруг точки исходного равенства, и в результате на координатной плоскости m_g, m_v намечалась эллиптической формы фигура — пороговый «эллипс m_g, m_v ». Для каждого его диаметра делалось по 5 наблюдений. Измерения эллипсов повторялись каждым отдельным наблюдателем по три раза, и по усредненным значениям для 12 точек обвода проводился эллипс. Таких эллипсов было получено 144 (по 4 для каждого из 36 выбранных цветов). Дальнейший пересчет на координаты k, z давал «эллипсы k, z ».

Оформление поля зрения, имевшего угловой размер 8° , можно видеть на рис. 2, в. Яркость поля зрения определялась совокупностью коэффициентов пропускания трех цветных стекол (красного, зеленого и синего) в составном свето фильтре и находившейся в белом диффузном осветителе S (рис. 2, а) 500-ваттной лампой. Непосредственные измерения яркости в поле зрения показали, что для изу-

* Характерно, что субъективный критерий «порогового различия» оказался весьма устойчивым и определенным, так что приводил к одинаковым результатам при определениях, разделенных промежутком времени больше 2 мес.



чавшихся цветов освещенность на сетчатке составляла от 250 до 40 трол.*.

Благоприятная яркость, большой размер поля зрения и эффект одновременного контраста должны были обеспечить особо высокий уровень чувствительности, что и подтверждается результатами работы.

На рис. 3 (на вклейке) представлены совместно на координатной плоскости (k, z) треугольника основных цветов K_0, Z_0, C_0 полученные на вышеописанном приборе пороговые «эллипсы k, z ». Для наглядности они даны на рисунке увеличенными в 4 раза против истинных размеров**. В таком виде пороговые эллипсы удобно рисуют реальную картину остроты цветоразличения в плоскости k, z . В этом лежит практическое преимущество нашего выбора рабочей в колориметрии плоскости $k + z + c = 1$ по сравнению с равносветлой плоскостью, выбранной Мак-Адамом в его работе 1942 г. (1), когда были определены 25 эллипсов для одного единственного наблюдателя. К тому же, пересчитанные на плоскость $x + y + z = 1$ эллипсы Мак-Адама дают собственно неизвестно что, являясь проекциями эллипсов, измеренных в совершенно другой (равносветлой) плоскости. Вместе с тем, этот автор не мог позволить себе представить эти эллипсы нанесенными сообщая на эту равносветлую плоскость из-за чрезвычайной неудобства цветowych масштабов на ней, делающего эту плоскость совершенно непрактичной для колориметрии***.

То обстоятельство, что в нашей работе участвовало четыре детально обследованных на аномалоскопе нормальных наблюдателя и на эллипсах рис. 3 явно обнаруживается согласное у всех четырех преобладание определенных ориентаций и формы эллипсов, должно позволить с большей уверенностью пользоваться нашими данными, чем эллипсами одиночного наблюдателя Мак-Адама, которые, между тем, в течение целого десятилетия являлись фактически единственным экспериментальным материалом по пороговым эллипсам и притом, как указывалось выше, превратного характера.

Рис. 3 позволяет установить, что диаметры пороговых эллипсов на треугольнике K_0, Z_0, C_0 , направленные по осям K и Z , сравнительно мало изменяются по величине — всего ~ 2 раза: Δk от 0,0015 до 0,0035; Δz от 0,0025 до 0,0045. Иначе говоря, пороги цветоразличения имеют на выбранной плоскости (k, z) треугольника с типичными K_0, Z_0, C_0 близкое к равноступенности выражение. Эта ценная сама по себе черта графика рис. 3 подтверждает, с другой стороны, адекватность принятого в практической колориметрии выбора основных цветов $\bar{K}_0, \bar{Z}_0, \bar{C}_0$.

* «Троланд» — новое название, предложенное М. О. К. для прежней единицы освещенности на сетчатке — «фотона», неудобного по двойственному смыслу, который приобретало это название.

** На рис. 3 некоторые эллипсы исключены, так как при увеличении в 4 раза они частично накладывались на соседние.

*** Заметим, что путем надлежащего подбора светофильтров (т. е. основных цветов K_0, Z_0, C_0) в нашем двоярном колориметре нетрудно получить возможность производить определения пороговых эллипсов и на самой плоскости $x + y + z = 1$, или на какой-либо другой, например на плоскости $z + d + e = 1$ в основной физиологической системе R_0, G_0, B_0 , или, наконец, на той же равносветлой плоскости («по Мак-Адаму»). Но полученные теперь «эллипсы x, y » давали бы уже истинную картину остроты цветоразличения для цветов в плоскости $x + y + z = 1$, а не искаженную проектированием эллипсов с другой какой-нибудь плоскости на эту, x, y , как это сделано у Мак-Адама. Ведь нетрудно представить себе как крайний случай искажения такой выбор этих двух плоскостей, когда эллипсы на первой превращаются в линии на второй. Особенно интересно было бы провести определение пороговых эллипсов в «физиологической» плоскости $z + d + e = 1$, так как при этом в наиболее явной форме отразилось бы влияние природы цветочувствительных приемников сетчатки.

Учитывая соотношение между пороговым различием и погрешностью в установках на равенство, можно сделать из наших данных тот вывод, что в визуальной колориметрии при надлежащих экспериментальных условиях возможно получить точность измерений, определяемую погрешностью $\sim 0,002$ в установлении координат цветности.

Полученный нами новый экспериментальный материал по порогам цветоразличения в виде 144 пороговых «эллипсов k, z » для 36 цветов позволяет переходить непосредственно от получаемых измерением на трехцветных колориметрах различий в координатах цветности (k, z) к их правильной оценке в порогах, и в этом лежит главное практическое значение работы.

Поступило
10 VI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. L. MacAdam, J. O. S. A., 32, 247 (1942). ² Г. Н. Раутиан, ДАН, 73, № 1, 99 (1950).