

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

С. О. МАЙЗЕЛЬ

К ТЕОРИИ МЕТОДА МИГАНИЙ В ФОТОМЕТРИИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 19 X 1947)

1. Для измерения силы света источников, цветность излучения которых иная, чем у эталонного источника, получил широкое применение так называемый мигающий фотометр. Хотя вопрос о надежности метода мигания и условиях, при которых им можно пользоваться, в настоящее время полностью выяснен экспериментально, самый принцип его работы остается еще неосвещенным, несмотря на несколько попыток разгадать своеобразный характер явлений в мигающем фотометре.

Эти явления заключаются в следующем. Если глаз видит в последовательной смене 4—6 раз в секунду два поля различной яркости и цветности, то различие в цветности перестает восприниматься, но остается ощущение мигания по яркости. Соответственным изменением яркости одного из сравниваемых полей можно достичь прекращения (или чаще минимума) яркостного мигания, что и дает возможность обычным способом определить соотношение сил света сравниваемых источников.

То обстоятельство, что различие цветности полей перестает восприниматься, в то время как мигание по различию яркости ощущается четко и неприятно, не получило до сих пор удовлетворительного объяснения.

2. Опыты Гранита показали, что в сетчатках всех способных различать цвета животных имеются колбочки, передающие зрительному центру импульсы с частотой, соответствующей яркости видимого поля, как он их назвал, доминаторы, и три типа колбочек модуляторов, частоты импульсов от которых дают начало ощущению цветности. Каждый из типов модуляторов имеет свою кривую спектральной чувствительности, максимумы которых лежат в разных участках спектра. Чувствительность доминаторов к излучениям любой длины волны равна сумме чувствительностей модуляторов всех трех типов для той же длины волны. Таким образом, при любом спектральном составе излучения можно написать:

$$B = B_r + B_g + B_b,$$

где B — яркость; B_r, B_g, B_b — селективные яркости, соответствующие возбуждениям трех типов модуляторов, условно обозначенных r (преимущественно красно-чувствительный), g (зелено-чувствительный) и b (сине-чувствительный). Цветность определяется двумя отношениями: $m = B_g/B_r$ и $n = B_b/B_r$. Этим величинам соответствуют отношения $\mu = \nu_g/\nu_r$ и $\sigma = \nu_b/\nu_r$, где ν_r, ν_g, ν_b — частоты импульсов в нервных волокнах, отходящих от модуляторов типов r, g, b .

На всех уровнях возбуждения, при которых работает дневной, колбочковый зрительный аппарат, частоты импульсов подвержены

флуктуациям тем большим, чем меньше частота. Величина флуктуаций обуславливает степень определенности, с которой может восприниматься данный цвет. Действительно, так как флуктуируют и числители и знаменатели выражений для μ , σ , то обе эти величины претерпевают еще более значительные флуктуации. На уровнях яркости 25—50 асб. флуктуации для μ не превосходят приблизительно 3,5%, а для σ достигают около 25%. Этими величинами определяется точность установления цветности. Если флуктуации становятся больше (что, например, имеет место на низких уровнях яркости), то определенность в восприятии цветового тона уменьшается, цветовое ощущение как бы расплывается. При очень больших флуктуациях цветовое ощущение может стать настолько неясным, что окажется затруднительным дать ему какое-либо определенное название. Обычно такое положение создается только при очень малых яркостях, но возможно и искусственным путем вызвать усиленную флуктуацию m и n , а следовательно, и μ , σ .

3. В мигающем фотометре поле зрения последовательно, через примерно 0,2 сек., меняет свои цветовые характеристики. Пусть одна из них дана величинами m_1, n_1 , а вторая — m_2, n_2 . Тогда при равенстве времен появления каждого из цветов можно считать с некоторым приближением, что средняя цветовая характеристика поля будет

$$\frac{k_1 m_1 + k_2 m_2}{k_1 + k_2} \pm \frac{k_1}{k_1 + k_2} (m_1 - m_2) ; \quad \frac{k_1 n_1 + k_2 n_2}{k_1 + k_2} \pm \frac{k_1}{k_1 + k_2} (n_1 - n_2)$$

где k_1, k_2 — параметры, характеризующие яркости каждого из сменяющихся цветов. Другими словами, можно считать, что примерно в таком же отношении будут находиться и результирующие величины μ, σ , которые не могут оставаться сколько-нибудь постоянными, а будут изменяться в пределах от μ_1 до μ_2 и от σ_1 до σ_2 . Соотношение можно, естественно, понимать так, что получатся некоторые средние величины μ, σ , которые более или менее правильно периодически флуктуируют между крайними значениями μ_1 и μ_2, σ_1 и σ_2 . На периодические флуктуации накладываются еще собственные хаотические флуктуации самих величин $\mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2$. В результате глаз увидит некоторую среднюю цветность, которая, однако, вследствие сильных флуктуаций будет мало определенной.

Как известно, в методе мигания каждый должен для себя устанавливать индивидуально наиболее благоприятную частоту мигания для данной комбинации цветностей полей. Причина этого заключается в том, что у разных людей наступление прекращения мигания по цветности происходит при различной частоте смены полей, и даже для одного человека эта частота может зависеть от разностей $k_1 m_1 - k_2 m_2$ и $k_1 n_1 - k_2 n_2$.

Легко понять, что при очень медленной смене полей изменение цветностей еще легко прослеживается и явление нельзя рассматривать как установление некоторого среднего, но сильно флуктуирующего состояния. При учащении смены на некоторой, в известных пределах различной для отдельных индивидуумов частоте наступают описанные выше соотношения, а дальнейшее увеличение ее приводит к постепенному уменьшению амплитуды флуктуаций и все более четкому установлению средней цветности $\left(\frac{k_1 m_1 + k_2 m_2}{k_1 + k_2}, \frac{k_1 n_1 + k_2 n_2}{k_1 + k_2} \right)$. Сказанное относится к работе модуляторов.

Доминаторы реагируют не на цветность излучения, а на яркость. Частота импульсов в нервных волокнах, отходящих от доминаторов,

как правило, значительно больше при прочих равных условиях, чем частота от модуляторов, а следовательно, флуктуации частоты заметно меньше (приблизительно 1,5% при указанной яркости). При смене спектрального состава фотометрического поля вводятся насильственные периодические флуктуации, которые при относительно медленном ритме смен не могут в заметной степени выравняться. Только при равенстве частот импульсов от обоих сменяющихся полей, т. е. при равенстве яркостей, мигание поля может прекратиться. Ускорение ритма смены в достаточной степени приводит к возможности выравнивания частот импульсов и, следовательно, к исчезновению миганий даже в случае большого различия яркостей.

Здесь намечены только основные черты зрительного процесса при фотометрировании по методу мигания. Детальное рассмотрение этого процесса потребовало бы значительно более пространного изложения и привело бы к некоторым существенным выводам в области понимания зрительного процесса при перемежающемся падении света на глаз.

Светотехнический сектор
Всесоюзного электротехнического института
им. В. И. Ленина

Поступило
19 X 1947