

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

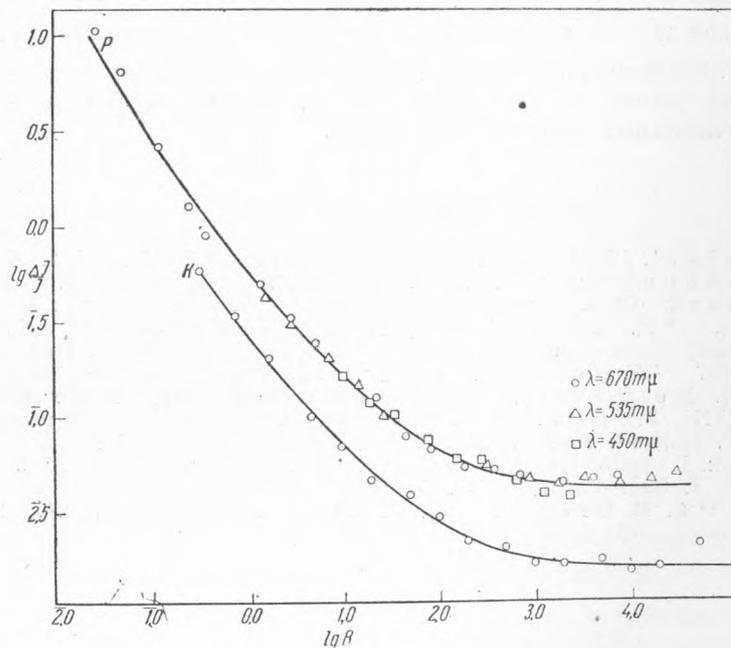
Н. Т. ФЕДОРОВ и В. И. ФЕДОРОВА

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЛАЗА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 27 VI 1939)

В предыдущей работе⁽¹⁾ одного из нас была дана общая теория механизма фотометрической чувствительности глаза.

Выведенные в ней формулы (7) и (9), связывающие фотометрическую чувствительность глаза с яркостью стимула и временем его предъявления,



Фиг. 1

были применены нами к экспериментальным данным Кёнига и Бродхуна для красного света, к данным Хехта, Пескина и Пэт, к данным Грэма и Кемпа, к данным Штейнгардта и, наконец, к полученным в нашей лаборатории данным Плахова⁽²⁾.

На фиг. 1 кружками нанесены опытные данные Кёнига и Бродхуна (для глаза Кёнига), полученные для спектрального красного света ($\lambda = 670 \text{ m}\mu$), а сплошная кривая k вычислена по нашей формуле:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{0.0155}{x'_0} + \frac{0.000816}{x'_0{}^2}; \quad b = 115.$$

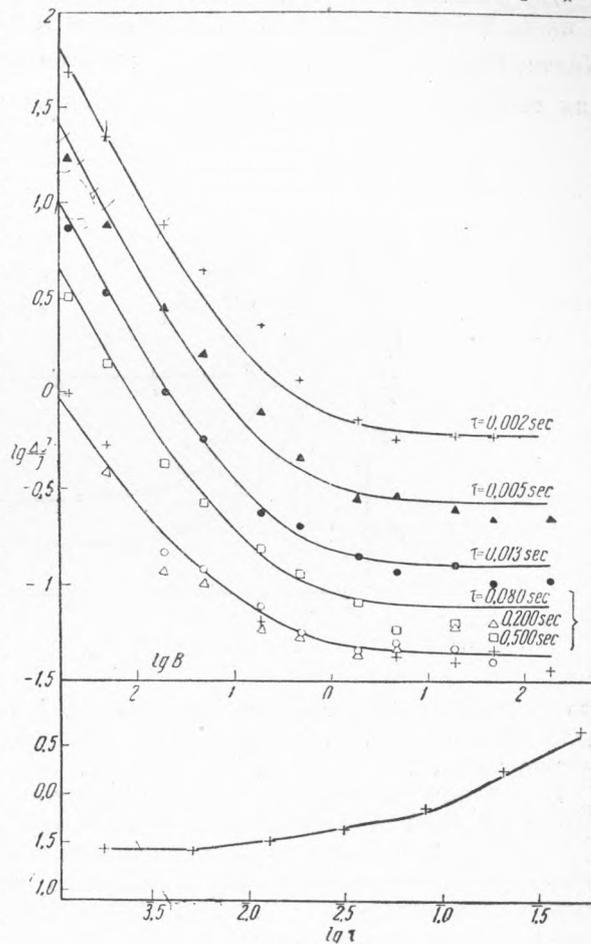
На этой же фиг. 1 нанесены кружками данные, полученные Хехтом, Пескиным и Пэт для красного света для исп. п. (доминирующая длина волны $\lambda=670$ $m\mu$). Сплошная кривая p вычислена по нашей формуле:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{0.0406}{x'_0} + \frac{0.00214}{x'_0{}^2}; \quad b = 83.3.$$

Авторы указывают, что колбочковые части их кривых для разных цветов не вполне точно совпадали друг с другом, но считают это артефактом и объясняют в основном возможными изменениями в затворе их установки, при помощи которого ΔI предъявлялось на 0.04 секунды во время исследования, продолжавшегося в течение ряда месяцев. Поэтому в конце работы они проделали определение максимального значения $\frac{\Delta I}{I}$ для больших интенсивностей различных цветов в один и тот же день.

Измерения эти показали, что $\frac{\Delta I}{I}$ для всех цветов одно и то же, с максимальным отступлением от среднего приблизительно в 10%. Если это так, то при смещении вдоль оси ординат они должны совпасть, что мы и видим на фиг. 1, где треугольниками и квадратами нанесены данные для зеленого ($\lambda=535$ $m\mu$) и синего ($\lambda=450$ $m\mu$) цветов, несколько смещенные вдоль оси ординат.

Так же хорошо укладываются при других константах и данные их для палочкового зрения.



Фиг. 2

На фиг. 2 приведены данные Грэма и Кемпа, которые измеряли $\frac{\Delta I}{I}$ для времени предъявления ΔI в пределах от 0.002 до 0.5 секунды. Принимая во внимание, что ошибки при определении ΔI для малых τ , несомненно, значительны, мы видим, что все эти кривые укладываются в нашу формулу, причем для τ , меньших 0.08 сек., $\frac{\Delta I}{I}$ выражается так:

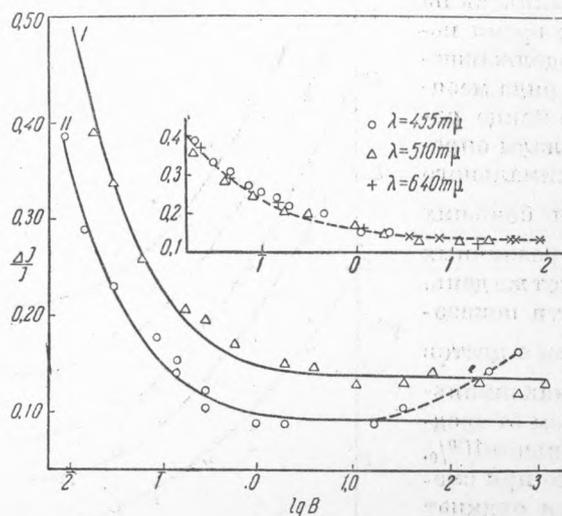
$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{0.038}{x'_0} + \frac{0.00115}{\tau x'_0{}^2}; \quad b = 6.80, \text{ а для } \tau, \text{ бóльших } 0.08,$$

формулой для стационарного состояния

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{0.038}{x'_0} + \frac{0.005}{x'_0{}^2}; \quad b = 6.80.$$

В нижней части фиг. 2 нанесены значения $\log^2 \Delta I \cdot \tau$ в зависимости от $\log \tau$ для $\log B = 1.67$, причем сплошная кривая вычислена теоретически, а опытные данные нанесены крестиками. Такой же характер имеют кривые и для всех остальных B , причем почти на всех них несколько выпадают точки для времени $\tau = 0.08$ сек.; для которого, повидимому, стационарное состояние еще не установилось; но брать интеграл дифференциального уравнения (5') в виде (5') мы уже не можем.

Не останавливаясь на данных Штейнгардта, которые укладываются в наши формулы столь же хорошо, как и данные Кёнига и Бродхуна, Хехта, Пескина и Пэт, мы перейдем к исследованию зависимости $\frac{\Delta I}{I}$ от B для точечных световых раздражителей (0.1 мм на расстоянии 27.5 см,



Фиг. 3

что соответствует телесному углу около $1.25'$) разных цветов, которое было проведено А. Г. Плаховым⁽²⁾ в нашей лаборатории и под нашим руководством на следующей установке.

Излучение источника света (кинопроекционной цилиндрической лампы на 1000 W типа Mazda, или, в одной серии, точечной дуговой вольфрамовой лампы) при помощи линзы собиралось на матовом стекле, непосредственно за которым помещалась черная металлическая пластинка с отверстием в 0.1 мм. Перед отверстием помещалась призма Рошона, раздваивающая изображение отверстия и монтированная таким образом, что ее можно было приближать или удалять от пластинки с отверстием, меняя этим расстояние между светящимися точками, которые рассматривались через помещенную перед глазом за искусственным зрачком поляризационную призму типа Франк—Риттера, угол поворота которой отсчитывался с точностью до десятой доли градуса. Для изменения B применялся набор точно промеренных по всему спектру серых светофильтров, позволявших изменять яркость в 55 000 раз. После установки на равенство поляризатор поворачивался до получения едва заметной разницы в яркости, и по углам поворота в первом и во втором случае определялось $\frac{\Delta I}{I}$. Для белого света были получены две кривых, экспериментальные точки которых являются средними из 2—3 серий опытов, проведенных в разные дни, причем в каждой серии каждая точка определялась на основании 20—30 отсчетов. Одна из этих кри-

вых, полученная для такого расстояния между точками, что промежуток между ними исчезал лишь при самой большой яркости, изображена на фиг. 3, I, а соответствующие ей цифры даны в табл. 1. Вторая кривая, полученная для расстояния между точками, при которой они сливались уже при средних яркостях, изображена на фиг. 3, II, причем соответствующие ей цифры даны в третьем и четвертом столбцах табл. 1.

Мы видим, что, начиная от той яркости B , при которой между точками не было видно разделяющего промежутка, кривая $\frac{\Delta I}{I}$ при увеличении

Таблица 1

B_1 (в люксах) (на белом)	$\left(\frac{\Delta I}{I}\right)_I$	B_2 (в люксах) (на белом)	$\left(\frac{\Delta I}{I}\right)_{II}$
1 000	0.130	—	—
500	0.120	500	0.164
—	—	250	0.143
205	0.129	—	—
65	0.141	—	—
32.5	0.130	32.5	0.105
10.25	0.129	16.25	0.088
3.63	0.142	5.12	0.088
1.82	0.150	0.91	0.088
0.54	0.170	0.27	0.104; 0.122
0.27	0.195	0.135	0.154; 0.140
0.166	0.208	0.083	0.177
0.0585	0.262	0.0292	0.238; 0.230
0.0293	0.337	0.0146	0.290
0.0184	0.390	0.0092	0.386

I поднимается вверх, что, с нашей точки зрения, объясняется тем, что вследствие и р р а д и а ц и и для различения разницы в яркостях в этом случае требуется уже значительно большее Δx , и поэтому мы не можем в формуле (9) пренебрегать членом с $\frac{\Delta x}{X-x_0}$, при наличии которого подобное повышение неизбежно.

Сплошные кривые на фиг. 3 вычислены по нашим формулам:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{0.1293}{x'_0} + \frac{0.068}{x'^2_0} \quad \text{и}$$

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{0.0864}{x'_0} + \frac{0.00454}{x'^2_0}; \quad b = 0.0912.$$

Для измерений с цветными точками применялись красный, зеленый и синий светофильтры с тщательно промеренными спектральными пропусками, по которым был определен их цветовой тон ($\lambda_1 = 640 \text{ m}\mu$, $\lambda_2 = 510 \text{ m}\mu$ и $\lambda_3 = 455 \text{ m}\mu$ для источника А (2848°) и общий коэффициент пропускания; для вычисления которого было промерено распределение энергии в спектре лампы в 1000 W спектрофотометрическим сравнением ее с лампой с известным распределением энергии по спектру, и кривая спектральной чувствительности для глаза экспериментатора. Эти коэффициенты оказались равными:

$$T_{\text{кр}} = 0.0825; \quad T_{\text{зел}} = 0.0218 \quad \text{и} \quad T_{\text{син}} = 0.00218.$$

Имея эти цифры, можно было выражать I в единицах, пропорциональных яркости точек B_0 . Результаты измерений с цветными точками даны на фиг. 3 вверху, причем видно, что в пределах точности измерений изменение $\frac{\Delta I}{I}$ в зависимости от B не зависит от цветности, чего не могло бы быть при наличии в сетчатке несколько светочувствительных веществ.

Таким образом, развитая одним из нас теория позволяет количественно истолковать весь имевшийся и вновь полученный экспериментальный материал, относящийся к зависимости фотометрической чувствительности глаза от яркости.

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

Поступило
29 VI 1 39

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Т. Федоров, ДАН, XXIV, № 7. ² А. Г. Плахов, Контрастная (фотометрическая) чувствительность глаза для точечных источников света (Дипломная работа, в рукописи—1937).